Geologisch-hydrologische Beziehungen zwischen Fluß- und Grundwasser in der Saale-Elsteraue südlich Halle

Emil Hirt

4139

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548123_0070

GEOLOGISCH-HYDROLOGISCHE BEZIEHUNGEN ZWISCHEN FLUSZ- UND GRUNDWASSER

Geologisch-hydrologische Beziehungen zwischen Fluß- und Grundwasser in der Saale-Elsteraue südlich Halle

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde einer
Hohen Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Martin-Luther-Universität
Halle-Wittenberg

vorgelegt von
Emil Hirt
aus Halle (Saale)

Halle (Saale) 1937

1. Berichterstatter: Prof. Dr. H. Scupin

2. Berichterstatter: Prof. Dr. F. v. Wolff

Tag der mündlichen Prüfung: 23. Juni 1937

R UNIV
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Inhaltsverzeichnis

Seite

Allgemeine Betrachtung 7
Stand der Frage 10
Das Untersuchungsgebiet 15
Methodische Erörterungen und ihre praktischen Folgerungen 18
I. Hydrologische Beobachtungen 19
a) Schwankungen von Flußwasser- und Grundwasserständen mit graphischen Darstellungen 20
b) Gegenüberstellung von Ganglinien vom Fluß- und Grundwasser bzw. Niederschlägen 30
II. Färbversuche 34
III. Druckversuche 36
IV. Chemische Untersuchungen 38
V. Elektrische Untersuchungen 41
Schlußbetrachtung 46
Schrifttum 47

Anregung zu dieser Arbeit gab mir mein verehrter Lehrer, Herr Prof. Dr. H. SCUPIN, Halle a. d. Saale. Der hier zur Darstellung kommende Fragenkomplex wurde akut durch Meinungsverschiedenheiten, die im Rahmen des Wasserentnahmegebietes des Wasserwerkes der Stadt Halle auftraten.

Eine exakte Durchführung meiner Arbeit verdanke ich der ständigen Förderung durch Herrn Prof. Dr. H. SCUPIN, dem an dieser Stelle mein besonderer Dank abgestattet sei.

Herrn Prof. Dr. F. von WOLFF möchte ich dafür danken, daß er mir die Durchführung der chemischen Analysen im Laboratorium des Mineralogischen Institutes der Universität Halle gestattete.

Weiteren Dank möchte ich sagen den Herren des Vorstandes der Landelektrizität G. m. b. H. Halle (Saale), der Landesbauernschaft Sachsen-Anhalt, den Herren der Preußischen Kanalbauämter in Halle und Merseburg, des Preußischen Wasserbauamtes zu Halle, des Kulturbauamtes in Merseburg sowie des Preußischen Bergreviers in Naumburg, die mir durch ihr Material zur Hand gingen.

Emil Hirt.

Allgemeine Betrachtung.

Als Trinkwasserlieferant kommen für Industrie und Großstadtbezirke im wesentlichen Fluß- und Grundwasser in Frage. Die technische Entwicklung der letzten Jahre zeigt, daß die Ausnutzung des Grundwassers für Trinkwasserzwecke dem Flußwasser immer mehr vorgezogen wird, da beim Grundwasser eine natürliche Filterung vorliegt und keine schädigenden Einflüsse durch chemische Abwässer zu befürchten sind, die für gewöhnlich in die Flußläufe abgeleitet werden. Durch die Entnahme des Grundwassers für Trinkwasserzwecke erfolgt selbstverständlich ein bestimmter Verbrauch, der die Notwendigkeit eines Ausgleiches nach sich zieht; dieser Ausgleich erfolgt durch das nachströmende Grundwasser, dessen Strömungsverlauf mit den ermittelten Urstromtälern oder auch in Richtung auf die Flußläufe, zumindest von einer Seite her, angesetzt werden darf. Es liegt dadurch die Frage nahe, ob der Ausgleich dem Verbrauch entspricht oder ob durch die Wasserentnahme infolge eines nicht hinreichenden Zuflusses eine solche Grundwassersenkung erfolgt, daß ein für die Vegetation schädigender Einfluß vorliegt[1]). (H. SCUPIN, 1933, 1934, 1935.)

Nachdem Untersuchungen über vertikale Feuchtigkeitsbewegungen mit besonderer Berücksichtigung der Rekondensation (G. ISERT, 1937) gezeigt haben, daß das Grundwasser für die Ernährung der Pflanzen sowie für ihren Wasserhaushalt in verschiedenster Weise von grundlegender Bedeutung ist und eine größtmögliche Ausnutzung der für die Landwirtschaft zur Verfügung stehenden Flächen erfolgen muß, wird man der Frage einer Grundwassersenkung im Rahmen der Trinkwasserversorgung besondere Beachtung schenken müssen.

Gewisse Verlautbarungen gehen dahin, daß auf Grund eines noch zu untersuchenden Zusammenhanges zwischen Grundwasser und Flußwasser eine Auffüllung des Grundwasserverbrauches vom Flußwasser her erfolgen könnte.
Eine weitere Auffassung besagt, daß das Grundwasser in das Flußwasser gelangt und somit als Flußwasserspeicher dient. Es fehlt also hierbei eine Wasserabgabe vom oberirdischen Wasserlauf her an das Grundwasser.

Eine genaue Beantwortung dieser Fragen steht noch aus. Man wird im allgemeinen sagen müssen, daß Verallgemeinerungen in theoretischer Art nicht ohne weiteres erfolgen dürfen, sondern daß vielmehr eine spezielle Untersuchung des Einzelfalles auf Grund gewonnener und hier noch näher auszuführender Erfahrungen stattzufinden hat. Polemik auf theoretischer Grundlage kann lediglich eine Aufdeckung der Problematik vermitteln, über die hier kurz Klarheit gewonnen werden soll, ohne daß damit allerdings eine absolute Klärung verbunden wäre.

Es bleibt festzustellen, daß die Abhängigkeit des Flußwassers vom

---

[1]) Nähere Erörterungen sind zu finden in den Gutachten zum Prozeß des Herrn von TROTHA gegen die Stadt Halle, ausgeführt von H. SCUPIN, Halle.

Grundwasser oder des Grundwassers vom Flußwasser als eine Folge der Beschaffenheit des Flußbettes sowie der Lage des Wasserniveaus in Beziehung zwischen Grundwasser und Flußwasser anzusehen ist.

Die Schlammteilchen des Flußbettes, mit denen zweifellos überall da zu rechnen ist, wo eine relativ ruhige Strömung vorliegt, sind aufzufassen als Ventile, die — wie man sich vorstellen kann — durch Addition aller Teilchen wirken und als ein Verschluß des Weges vom Flußwasser zum Grundwasser anzusprechen sind. Anderseits wird der Weg vom Grundwasser zum Flußwasser beim Vorhandensein eines gewissen Überdruckes freigegeben, indem die Schlammteilchen in der Art eines einseitigen Ventiles den Weg zum Fluß öffnen.

Die Niveauverhältnisse zwischen Flußwasser und Grundwasser können durch drei verschiedenartige Beispiele anschaulich gemacht werden:

1. Das Grundwasser liegt unter dem Flußbett.

In diesem Falle findet eine Beeinflussung höchstens derart statt, daß das Flußwasser in das Grundwasser übertritt, sofern eine nicht hinreichende Verschlammung des Flußbettes vorliegt.

Musterbeispiel hierfür bietet die Elbe, die wohl bei ihrem Austritt aus dem Elbsandsteingebirge weniger Wasser aufzuweisen scheint, als ihr linker Nebenfluß, die Moldau, vorher im böhmischen Gebiet besaß.

Eine Grundwasserentziehung und eine damit verbundene Grundwasserspiegelsenkung erfolgt unabhängig vom Flußwasser, so daß mit einer Wasserabgabe vom Fluß her nicht gerechnet werden darf. Eine Untersuchung der Verschlammung könnte die Frage beantworten, wie weit eine Wiederherstellung des ursprünglichen, vor der Entziehung vorliegenden Grundwasserniveaus auf Kosten des Flußwassers zugunsten der Vegetation besteht.

Ein Beispiel bringt KEILHACK (1935, Seite 142), indem die Schwarze Elster bei Senftenberg als oberirdischer Wasserlauf über einem Senkungstrichter einer Braunkohlengrube untersucht wird. KEILHACK stellt hier fest, daß ein Wasserverlust der Elster nicht vorliegt, sondern vielmehr der unter der Elster befindliche Boden trocken ist.

2. Der Grundwasserspiegel liegt zwischen Flußspiegel und Sohle des Flusses.

In diesem Falle reicht das Flußbett in das Grundwasser hinein. Der Stand der Frage zeigt zugleich, daß die Beziehungen zwischen Grundwasser und Flußwasser wesentlich enger und auch vielgestaltiger als im ersten Falle werden. Neben einer Wasserzufuhr vom Fluß- zum Grundwasser besteht die umgekehrte Möglichkeit. Die Antwort auf die Frage, ob eine gegenseitige Beeinflussung des Grundwassers vom Flußwasser oder umgekehrt vorliegt, vermittelt eine etwaige vorhandene Flußverschlammung sowie die Möglichkeit eines Grundwasserdruckes, der zu einer einseitigen, oder dann und wann — je nach der Lage der geologischen Verhältnisse — auch zweiseitigen Beeinflussung des Fluß-

Abb. 1. Das Grundwasser liegt unter dem Flußbett.

Abb. 2. Der Grundwasserspiegel liegt zwischen Flußspiegel und Sohle des Flusses.

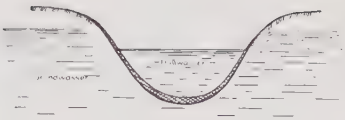

Abb. 3. Das Grundwasserniveau liegt höher als das Flußwasser.

wassers führt. Über die Art und Weise der Untersuchungen zur Klärung dieser Zusammenhänge sind bestimmte Versuche durchzuführen, auf die noch zurückzukommen sein wird.

Als ein Sonderfall kann Hochwasser auftreten. Dabei besteht die Möglichkeit, daß der Fluß über seine Verschlammungszone hinaustritt und damit einen Wasserübertritt vom Fluß- zum Grundwasser hervorruft. Dadurch wird eine Wasseransammlung in der Nähe des Flusses erfolgen, die durch das zuströmende Grundwasser verstärkt wird und eine weitere Anstauung begünstigt. Hiermit können Überschwemmungen verbunden sein, die erst bei Minderung des Flußwassers nach überstandener Hochwasserperiode nach und nach verschwinden.

Die Einwirkung des Hochwassers auf das Grundwasser wird vermutlich im Jahre 1893 vorübergehend für Halle a. d. Saale vorgelegen haben. Damals herrschte in Hamburg die Cholera; das übrige Deutschland konnte infolge guter Isolierung hiervor bewahrt bleiben bis auf eine Stelle, die Heilanstalt Nietleben bei Halle. Es erfolgte eine Übertragung der Cholerabazillen durch Schiffer aus Hamburg, die mit ihren Kähnen bis Halle gekommen waren. Der Brunnen am Weinberg (linkes Saaleufer), der von der Heilanstalt benutzt wurde, hatte die Bazillen durch das eingetretene Hochwasser aufgenommen und den Wasserverbrauchern zugeführt.

3. Das Grundwasserniveau liegt höher als das Flußwasser.

Hier ist es ganz offensichtlich, daß vom Grundwasser her ein Überdruck vorliegt, der ein Einströmen des Grundwassers in das Flußwasser mit sich bringt, das durch eine fehlende Verschlammung im oberen Bereiche des Flußbettes noch wesentlich gefördert werden kann. Diese Zusammenhänge liegen bei einem beiderseitigen Zustrom zum Flußlauf notwendig vor. Gewisse Differenzierungen treten bei einem einseitigen Zustrom auf. Zu einer Klärung der Verhältnisse zwischen Grundwasser und Flußwasser werden allein solche Untersuchungen führen können, die neben Angaben über die Verschlammung des Flußbettes auch die Niveauverhältnisse auf der Seite des Abflusses geben, von der sich das Grundwasser vom Flußwasser entfernt. Denn es besteht die Möglichkeit, wie dies bei der Schwarzen Elster der Fall ist[2]), daß das

[2]) Vgl. Seite 8.

Grundwasser unter dem Flußwasser hindurchläuft und sich dann wieder vom Fluß entfernt.

Man wird insbesondere zu untersuchen haben, wie weit eine Grundwasserverminderung auf dem jenseitigen Ufer bereits durch die natürlichen Verhältnisse gegeben und durch künstlichen Einfluß vergrößert ist und wie sehr eine Begünstigung durch einen Wasserübertritt vom Fluß- zum Grundwasser[3]) vorliegt.

Eine kritische Untersuchung aller dieser Fragen brachten die Grundwasserverhältnisse im Bereich der Elsteraue südlich von Halle mit sich, auf deren lokale und technische Verhältnisse noch näher einzugehen ist.

Stand der Frage.

E. SUESS (1866) spricht sich über die Verhältnisse zwischen Grund- und Flußwasser folgendermaßen aus: „Man begnügt sich damit, einen Fluß als die Vereinigung einer größeren oder geringeren Anzahl von kleineren Flüßchen, von Bächen und Quellen anzusehen, welche ihr Wasser in einem gemeinsamen Bette fortwälzen, man betrachtet den Wasserlauf lediglich als eine Erscheinung der Erdoberfläche, ohne zu bedenken, daß, wenn er wirklich nur der Oberfläche angehoren würde, notwendigerweise jeder Niederschlag der Atmosphäre, welcher sein Becken trifft, sofort abfließen und daher jeder Fluß zur Schneetau- und Regenzeit noch viel größere Anschwellungen zeigen müßte, als er ohnehin zeigt, während in der trockenen Jahreszeit selbst das größte Flußbett nahezu trocken sein müßte." Es wird weiter erwähnt, daß sich nur in den seltensten Fällen ein Flußlauf in seiner ganzen Länge in wasserdichtem Boden eingräbt; hiermit ist gesagt, daß die Beziehungen zwischen Grund- und Flußwasser von Fall zu Fall untersucht werden müssen.

Eine Verbindung zwischen Fluß- und Grundwasser besteht in den von SOYKA (1888) untersuchten Fällen u. a. am Hachinger Bach, einem kleinen Wasserlauf in der Münchener Hochebene. Dieser Bach entsteht dadurch, daß in einem Terraineinschnitt der Grundwasserspiegel in durchlassigem Gebiet bloßgelegt ist. Der Grundwasserspiegel hat sich hier sofort auf den Flußwasserspiegel eingestellt.

KEILHACK (1935, S. 142 ff.) bringt verschiedene Beispiele von gegenseitiger Beeinflussung des Grund- und Flußwassers. In Gebieten kluftiger Kalksteine, vor allem in den Formationen Devon, Trias, Jura und Kreide, ist eine Versickerung der oberirdischen Wasserläufe in vielen Fällen nachzuweisen. Insbesondere wird hier das Beispiel der Donau-Versickerung bei Möhringen und Tuttlingen im kalkigen Oberen Jura mit einer Versickerungsmenge von 2000 Liter pro Sekunde angeführt.

Auch im entgegengesetzten Sinne, wo eine gegenseitige Beeinflus-

[3]) In der vorliegenden Arbeit ist der Begriff „Grundwasser" nach H. SCUPIN (1935) allgemein im weiteren Sinne zu verstehen, d. h. er umfaßt das gesamte im Erdboden befindliche Wasser.

sung nicht zu verzeichnen ist, werden eine Reihe allgemein bekannter Beispiele angeführt. Es handelt sich hierbei um Abdichtung von Flußbetten mittels Schlamm. Nicht nur natürliche Flußbetten werden hiervon betroffen, sondern auch bei künstlichen Kanalbetten tritt schon nach kurzer Zeit, wenn sie nicht besonders abgedichtet sind, eine Selbstdichtung ein.

An anderer Stelle sagt KEILHACK (1935, S. 148): „Das Ansteigen des Grundwasserspiegels vom Flusse aufwärts ist wohl der sprechendste Beleg dafür, daß das Grundwasser den Flüssen zuströmt." Es kann aber auch der Fall umgekehrt vorliegen, so daß das Grundwasser in der Nähe des Flußlaufes höher steht als in weiterer Entfernung; das ist denkbar bei einem großen Gefälle und einem in den Grundwasserbereich hineinragenden Flußbett, an dem eine Anstauung stattfindet. Es darf deshalb keinesfalls daraus der Schluß gezogen werden, daß das Grundwasser eine Bereicherung vom Fluß her erfährt. Aus diesem Zusammenhange wird klar, daß eine Beurteilung der Frage allein nach äußeren Anzeichen mit völliger Sicherheit nicht möglich sein wird, sondern daß besondere Untersuchungen den endgültigen Ausschlag zu geben haben.

KEILHACK (1935, S. 142) führt einen Sonderfall an, wo bei einem Schleusenbau in Plötzensee festgestellt wurde, daß der unter dem Kanal liegende Sand völlig trocken war und demnach trotz einer nicht vorliegenden Abdichtung eine Wasserabwanderung nicht stattgefunden hat. Es ist also daraus zu ersehen, daß man mit einer Selbstdichtung rechnen muß, die für eine Beurteilung der Frage von wesentlicher Bedeutung wird.

Wenn schon in vielen Fällen der Nachweis erbracht wurde, daß die Beeinflussung insbesondere des Flußwassers durch das Grundwasser auftritt, so muß anderseits festgestellt werden, daß eine gegenteilige Beeinflussung, also des Grundwassers durch das Flußwasser, nur in den seltensten Fällen in Erscheinung getreten ist. KEILHACK führt im allgemeinen solche Beispiele an, wo das Flußwasser vom Grundwasser beeinflußt ist, also eine Addition zugunsten des Flusses vorliegt. Es wird hierdurch die bereits früher geschilderte Ansicht von dem einseitigen Schlammventil in den Flußläufen bestätigt. Die Ventile werden durch den Druck des Flußwassers geschlossen, so daß ein Übertritt vom Flußwasser in das Grundwasser nicht erfolgt.

PRECHT (Köthen 1915) bringt zum Ausdruck, daß der neben der Saale und Elster fließende Grundwasserstrom, aus dem die Stadt Halle das Wasser entnimmt, durch die Saale nicht ungünstig beeinflußt wird.

Er findet im Jahre 1913 einen Mg-Gehalt von 42 mg/l im Saalewasser, der im Jahre 1914 auf 30,5 mg sinkt. Der Durchschnitt beträgt 36,5 mg. Im Hallischen Leitungswasser sind 28,7 mg Magnesium enthalten. Dieser Betrag hat sich während der zweijährigen Beobachtungszeit nicht geändert; er ist also vom Saalewasser völlig unabhängig.

Desgleichen liegen Chloruntersuchungen vor. Im Jahre 1913 wurden

186,4 mg, im Jahre 1914 wurden 134,9 mg festgestellt. Dagegen stieg der Chlorgehalt im Hallischen Leitungswasser von 175,8 mg auf 192,6 mg. Diese Tatsache steht im Widerspruch zu den ermittelten Magnesium-Werten.

Da PRECHT ausschließlich auf Magnesium eingeht und den Chloranstieg im Grundwasser ignoriert, muß seine Klärung, die keinen Zusammenhang zwischen Fluß- und Grundwasser feststellen will, zunächst angezweifelt werden. Die „Lösung" von PRECHT ist also nur eine scheinbare.

DUNBAR (München 1913) berichtet u. a. von einem schädigenden Einfluß, den Chlormagnesium-Abwässer bei einer Einführung in den Flußlauf auf Grundwasserwerke haben sollen, indem er sagt: „Durch Anlegung von Grundwasserwerken innerhalb der Einflußsphäre dieser Flüsse kann man sich solchen nachteiligen Wirkungen nicht entziehen, weil mit dem Eindringen des Flußwassers in den Untergrund zu rechnen ist, und weil das Chlormagnesium, wie nachgewiesen wurde, zum größten Teil unverändert durch den Boden hindurchtritt oder aber in das ebenso schädliche Calciumchlorid umgesetzt wird."

In seiner Gegenschrift zu DUNBAR zeigt VOGEL (Berlin 1914), daß „eine nachteilige Beeinflussung durch dem Flußwasser beigemengte Kaliabwässer in keinem einzigen Falle tatsächlich erwiesen und nach Lage der Verhältnisse auch nicht einmal wahrscheinlich" wäre. Er gibt höchstens zu, daß durch Hochwasser ein gewisser Übertritt erfolgen könnte.

Diese im gegenseitigen Widerspruch stehenden Meinungen verlangen nach einer Begründung, um einen endgültigen Entscheid herbeizuführen. Die Möglichkeit zu einer entsprechenden Erörterung ist bei DUNBAR selbst zu finden (S. 42). Im Beobachtungsgebiet befindet sich ein Graben, von dem 25 m entfernt ein Brunnen von 16 m Tiefe niedergebracht ist. Unter dem Mutterboden liegt eine 8 m starke Tonschicht, darunter folgt ein wasserführender Sand. Voruntersuchungen zeigten bereits, daß ein Grundwasser-Entzug eine Senkung des Wasserspiegels im Graben zur Folge hatte. Obwohl hiermit ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen Graben und Grundwasser erwiesen ist, der durch ein Auskeilen der Tonschicht oder natürliche bzw. künstliche Storungen verursacht sein könnte, benutzt DUNBAR diese Verhältnisse zum Nachweis der Durchlässigkeit des Tones für Chlormagnesium, die natürlich in Wirklichkeit kaum vorgelegen haben dürfte. Da DUNBAR selbst zugibt, daß die Tonschicht von Moorinseln durchsetzt ist, so wird seinen Schlüssen jede Berechtigung entzogen.

W. PFEFFER (Halle 1908) behandelt die Wasserverhältnisse in der Beesener Aue und bringt Ausfuhrungen über die Lage und Größe des Wassergewinnungsgebietes des Wasserwerkes der Stadt Halle. Hiernach wird die Niederschlagsmenge auf das Gebiet selbst, das etwa 612 ha beträgt, einen Grundwasservorrat von 1 224 000 cbm erzeugen. Seine Berechnungen fußen auf der Ansicht, daß ¼ des Niederschlages ver-

sickert, während ⅔ oberirdisch abfließen sowie verdunsten. Es ist unwissenschaftlich, die Versickerung mit ⅓ anzusetzen, da die verschiedensten äußeren Einflüsse eine Differenzierung nach sich ziehen müssen, wie es ULE (Stuttgart 1897) gezeigt und berechnet hat. Weiter ist zu berücksichtigen, daß die als Wasserreservoir dienende Fläche, auf die gleichzeitig, unter Einbeziehung der dort vorliegenden Niederschlagsmenge, die Berechnung des Wasservorrates erfolgte, nicht eng begrenzt, sondern infolge eines ausgedehnten Wasserzuströmungsgebietes wesentlich weiter zu fassen ist. Nur so ist es zu verstehen, wenn der Trinkwasserbedarf unter Umständen restlos vom Grundwasser her gedeckt wird, da die Untersuchungen von ULE zeigen, daß für eine Versickerung nur durchschnittlich 14—32%, je nach der Jahreszeit, in Frage kommen. Hiermit wäre an sich eine Verminderung der Versickerungsmenge bedingt, sofern man eine gegenseitige Unbeeinflußbarkeit vom Flußwasser und Grundwasser als Maßstab nimmt. Aus diesem Grunde darf eine an sich von PFEFFER gezogene Schlußfolgerung, daß ein Teil des Grundwasservorrates vom Fluß her stammt, nicht ohne nähere Untersuchungen abgetan werden. Man wird aber den Grund dieser unter Umständen vorliegenden Abhängigkeit nicht in einer lokalen Bindung des Einströmungsgebietes an dem Ort der Wasserentnahme zu suchen haben, so daß von dieser Perspektive her PFEFFER's Ausführungen als nicht stichhaltig angesehen werden müssen.

PFEFFER kommt zu dem Ergebnis, daß sich der Grundwasservorrat zu 25% aus Niederschlagsmengen und zuströmendem Wasser und zu 75% aus Saale- und Elsterwasser bildet. Saale- und Elsterwasser verhalten sich wie 3:1. Das Ergebnis erhält PFEFFER auf Grund von Berechnungen. Er berechnet zunächst die Strömungsgeschwindigkeit des Grundwassers und die mögliche, im Boden befindliche, Grundwassermenge. Daraus ermittelt er, daß der Wasservorrat an sich im Verhältnis zum Wasserverbrauch durch das Wasserwerk mehr als 2 Jahre reicht. Der Wasserzufluß muß einem Ausgleich des Wasserverbrauches dienen. Die Begrenzung des Gebietes erfolgt in der Einströmungsrichtung des Grundwassers durch die Saale und Elster, während sich auf eine bestimmte Strecke zwischen diesen beiden Flüssen kein weiterer oberirdischer Wasserlauf befindet, der parallel zur Begrenzung verläuft. Das im Rahmen dieser offenen Stelle einströmende Wasser reicht, wie PFEFFER berechnet, nicht aus, um den Wasserverbrauch des Wasserwerkes auszugleichen. Deshalb wird die Folgerung gezogen, daß ein wesentlicher Anteil von den übrigen Seiten zuströmt und deshalb aus den Flußläufen stammt.

Dieses Ergebnis muß als ein unhaltbarer Trugschluß angesehen werden; jedenfalls ist durch diese Berechnung keinesfalls erwiesen, daß ein Teil des Grundwassers unbedingt aus den Flußläufen stammen müßte. Denn PFEFFER hat die geologischen Möglichkeiten ganz übersehen, die auf Grund der Profiluntersuchungen ergeben, daß die Flußläufe in die wasserführenden Schichten hineinragen, sie aber keinesfalls abdämmen.

Deshalb steht die Möglichkeit offen, daß ein seitlicher Zustrom erfolgt, der sich aber unter den Flußläufen erstreckt und für die Flußläufe in keiner Weise verantwortlich zu machen ist. PFEFFER legt die für die Untersuchung heranzuziehenden Grundwasserisohypsen ausschließlich in das Gebiet der Wasserentnahme. Mindestens ebenso wichtig wäre eine Einbeziehung der Isohypsen außerhalb der Entnahmestellen, die einer anschaulichen Aufdeckung der Problematik gedient hätten, weil hierdurch die Möglichkeit eines Grundwasserzustromes anschaulich geworden wäre. So aber wird dieser willkürliche Befund zum Schaden der Betrachtungen ausgeschlossen. PFEFFER's im wesentlichen doch nur auf Annahmen fußende Rechnungen können für ein befriedigendes und sicheres Ergebnis keinesfalls genügen.

KASTNER gibt bereits 1906 einige wesentliche Argumente, die für die Beurteilung der Fragen von Bedeutung sind, und gleichzeitig eine größere kritische Untersuchung für den Einzelfall zulassen. Als Argument zur Untersuchung werden angeführt:

1. Chemische Verschiedenheit zwischen Fluß- und Grundwasser. In Stellungnahme hierzu ist zu sagen, daß fehlende Übereinstimmungen keinesfalls einen endgültigen Beweis bringen. Erst das teilweise Fehlen bzw. Auftreten bestimmter Stoffe läßt Möglichkeiten für eine Folgerung zu, die jedoch allein nicht als endgultig angesehen werden darf.
2. Färbungsversuche in einem von KASTNER untersuchten Falle zwischen einem Brunnen und einem Fluß zeigten ein negatives Ergebnis. Hierzu ist zu sagen, daß dadurch keinesfalls eine Unabhängigkeit erwiesen ist, denn der Farbstoff kann absorbiert werden, oder durch besondere Strömungsrichtungen nicht an die gewählte Stelle gelangen.
3. Die Strömungsrichtungen vom Fluß- und Grundwasser verlaufen nahezu parallel. Würde Flußwasser in den Boden eindringen, so müßte sich das auf die Strömungsrichtung bemerkbar machen.

Es ist dagegen der Einwand zu erheben, daß der Übertritt des Wassers durch die Wandungen des Flußbettes keinesfalls so intensiv erfolgt, daß mit einer merkbaren Stromungsänderung zu rechnen ist. Dieses Argument muß also als durchaus fragwurdig bezeichnet werden. In der Nähe des zur Untersuchung herangezogenen Flusses wurde eine Grube ausgeworfen, die nicht bis auf das Grundwasser reicht In diese Grube wurde Wasser gegeben, das in Richtung auf den Fluß ablief. Hierzu ist zu sagen, daß die Druckverhältnisse in tieferen Lagen des Flußbettes ganz andere sein werden, als sie zur Untersuchung herangezogen wurden. Diese lokalgebundene Erscheinung wird man deshalb nicht als allgemein gültig ansehen dürfen.

Eine Untersuchung im Leinetal oberhalb der Stadt Hannover liegt von STILLE[4]) vor.

[4]) STILLE, Gutachten: Flußwasser und Grundwasser im Leinetal oberhalb der Stadt Hannover vom 15. 3. 1911.

Auf Grund einer Zunahme der Kalkhärte im Grundwasser gegenüber einer konstanten Kalkhärte im Flußwasser, die niedriger als die im Grundwasser ist, gelingt STILLE der Nachweis, daß ein Einströmen von Flußwasser ins Grundwasser nicht möglich ist, denn „Flußwasser von rund 13% Kalkgehalt kann Grundwasser von über 15% Kalkhärte nicht im Kalkgehalte erhöhen!" Die hier angewandte Untersuchungsmethode ist selbstverständlich an die örtlichen Verhältnisse gebunden und kann zu allgemeinen Untersuchungen nicht herangezogen werden, weil die Grundwasserhärte in den weitaus meisten Fällen konstant bleibt.

Aus den wichtigsten, hier herangezogenen Beobachtungen und Ansichten geht hervor, daß noch nach weiteren Methoden gesucht werden muß, die eine sichere Klärung der jeweiligen Verhältnisse, gebunden an den Einzelfall, geben.

Hierüber werden die späteren Ausführungen berichten, indem eine zusammenfassende Anwendung zum Teil neuartiger Methoden an einem Beispiel zur Klärung des gesamten Fragenkomplexes beitragen soll.

Das Untersuchungsgebiet.

Das Beobachtungsgebiet, in dessen Bereich die genaueren Beziehungen zwischen Grundwasser und Flußwasser zu ermitteln waren, erstreckt sich zwischen der Saale und ihrem Nebenfluß, der Elster (vgl. Karte auf Seite 17). Es wird im NW begrenzt von der Mündung der beiden Flüsse in der Nähe von Röpzig, im W und SW von der Saale und im NO von der Elster. Die östliche Begrenzung wird gegeben durch die Ausdehnung der im Bereich zwischen den beiden Flüssen liegenden Wassergewinnungsanlagen des Wasserwerkes der Stadt Halle, deren nördliche Heberleitung sich bis in die Gegend von Döllnitz an der Elster erstreckt, während die südliche Heberleitung ihr Ende in der Nähe der Saale an der Straße zwischen Ammendorf und Schkopau findet. Die Untersuchungen im Bereich dieses Gebietes werden sich auch auf den weiteren Umkreis erstrecken müssen, indem zweifellos auf Grund der Mobilität des Grundwassers eine wesentlich weiterreichende Beeinflussung zu erwarten ist, die durch die Wasserentziehung erfolgt. Diese Einbeziehung der außerhalb des Gebietes liegenden Bereiche wird örtlich auszuwählen sein je nach der Strömungsrichtung des Grundwassers, die durch Festlegung der Grundwasser-Isohypsen ermittelt werden kann. Man wird in Richtung des Grundwasser-Zustromes zu gehen haben, nachdem im Zuströmungsgebiet im näheren Bereich der Wasserentziehungsstellen eine Beeinflussung zu erwarten ist. Zwischen der Saale und der Elster liegt als weiterer, nicht unbedeutende Wassermengen führender, oberirdischer Wasserlauf, die Luppe, die in der Nähe von Schkopau in die Saale mündet. Indem dieser Wasserlauf südöstlich vom Wasserentziehungsgebiet auf eine größere Strecke mehr oder weniger parallel zur Elster verläuft, ist eine strengere Abgrenzung durch oberirdische Wasserläufe bedingt, die bei einer Einbeziehung der Frage

nach den gegenseitigen Verbindungen zwischen Grundwasser und Flußwasser oder Flußwasser und Grundwasser von Bedeutung werden kann. Auf Grund dieser geographischen Verhältnisse, zu denen als hydrologische Merkmale die geologische Beschaffenheit dieses ganzen Bereiches hinzukommt, werden wichtige Ausblicke eröffnet, durch die eine Begünstigung der Grundwasserverhältnisse zugunsten des Wasserentziehenden leicht angenommen werden könnte.

Das gesamte Gebiet ist aufzufassen als ein Sammelbecken des Grundwassers, das von südöstlicher Richtung in einer breiten Zone zwischen Saale und Elster und auch darüber hinaus zuströmt, so daß mit einem wesentlichen Wasservorrat gerechnet werden kann, dem auf Grund des Verbrauches durch das Wasserwerk der Stadt Halle eine beträchtliche Abnahme gegenübersteht. Diese Abnahme soll im vorliegenden Fall zu einer merkbaren und schädigenden Wasserentziehung geführt haben, die der Landwirtschaft bedeutende Nachteile gebracht haben könnte. Dem steht die Behauptung zugunsten des wasserentziehenden Werkes gegenüber, daß eine Grundwasserergänzung auf Kosten des Flußwassers hinreichend vorläge. Der Wasserzustrom in das fragliche Gebiet muß als außerordentlich weit ausgedehnt angesehen werden. Es wird zur Beurteilung dieser Frage das gesamte Strömungsgebiet der Saale zu berücksichtigen sein, indem der Grundwasserzustrom im wesentlichen mit der Saale und auch der Elster in gleicher Richtung verläuft.

Nach den neuesten Bohrprofilen, die im besonderen durch frühere Untersuchungen von W. PFEFFER (Halle 1908) bestätigt werden, ist im Untersuchungsgebiet folgende Bodenbeschaffenheit anzutreffen:

Mächtigkeit		
0,30 — 0,60 m	Mutterboden	wasserdurchlässig
2,00 m	Auelehm	schwer wasserdurchlässig
5,30 m	Geröll Sand Kies	wasserführend
	Tone des oberen Buntsandstein	wasserundurchlässig

Aus dem vorstehenden Profil ist zu ersehen, daß unter einer verhältnismäßig wenig mächtigen Decke von Mutterboden ein im Durchschnitt 2 m mächtiger Auelehm anzutreffen ist, der als schwer wasserdurchlässig

Abb. 4. Das Untersuchungsgebiet.
(Die Profile vgl. Abb. 6 und 7).

angesehen werden muß, wobei eine kapillare Sättigung nicht als Argument für eine strömende Verbindung zwischen der über und unter dem Auelehm liegenden Schicht angesehen werden darf; ein Wasserdurchtritt setzt vielmehr erst dann ein, wenn ein die Kapillarkraft überwiegender Druck von oben auf Grund bedeutender Niederschlagsmengen vorliegt, der aber zweifellos wegen der geringen Mächtigkeit des über dem Auelehm befindlichen Mutterbodens und einer für das Beobachtungsgebiet geltenden Niederschlagsmenge von durchschnittlich 500 mm Jahr, nur von geringer Bedeutung für eine Grundwasservermehrung an Ort und Stelle sein kann. Deshalb wird man nach dem weitergehenden Einströmungsgebiet des zu untersuchenden Bereiches fragen müssen. Eine Wasserzuführung bringt zunächst das Saaletal mit sich. Die Muschelkalkgebiete um Jena liefern die Voraussetzungen für eine überwiegende Versickerung der Niederschläge, die in wesentlichen Anteilen dem Grundwasser zukommen. Weiter südlich, besonders im Jura- und Schiefergebiet, ist ein überwiegender Abfluß vorhanden, der für eine Bereicherung der oberirdischen Wasserläufe in Frage kommt; daran schließen sich Waldgebiete an, die einen Wasserverbrauch zugunsten der Vegetation erfordern und damit auch eine nur unwesentliche Bedeutung für die Ausbildung des Grundwassers haben werden.

Die Grundwasserzuführung im Bereich des Elstertales wird eine mengenmäßige Begünstigung mehr durch die flächenhafte Ausdehnung des Zustromgebietes erfahren, während eine Begünstigung durch die geologische Beschaffenheit des Untergrundes in Form kalkiger Bildung fehlt. Der Oberlauf der Elster wird durch Waldbestand mit dem Oberlauf der Saale verglichen werden können. Es liegt also ein weit ausgedehntes Einströmungsgebiet vor, das bedeutende Wassermengen zur Befriedigung des Wasserbedarfes einer Großstadt herbeiführt und zur Begünstigung der Ansicht über die Unabhängigkeit zwischen Flußwasser und Grundwasser bei zunächst oberflächlicher Betrachtung in Anspruch genommen werden könnte. Wie weit damit eine Beeinflussung der Vegetation erfolgt oder nicht in Betracht kommt, darf als eine mehr lokale Frage angesehen werden, je nachdem gelegentlich steilere oder flachere Grundwassertrichter auftreten.

Methodische Erörterungen und ihre praktischen Folgerungen.

Zur Untersuchung der gegenseitigen Beziehungen zwischen Grundwasser und Flußwasser bzw. für eine Beweisführung einer gegenseitigen Unabhängigkeit stehen verschiedene Untersuchungsmethoden zur Verfügung, die sich in ihrem Wesen durch hydrologische, chemische und physikalische Arbeitsformen unterscheiden und durch eine gleichzeitige Anwendung bei der Erzielung eines gleichen oder zumindest sehr ähnlichen Ergebnisses zu unbedingter Klarlegung führen müssen.

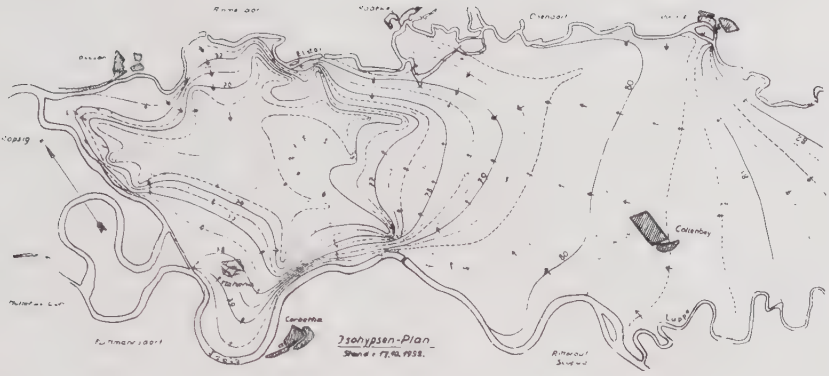

Abb. 5. Grundwasser-Isohypsen-Karte des Untersuchungsgebietes.

Diese verschiedenen Untersuchungsmethoden sind hier aufzudecken am gleichen Problem, das sich — wie schon die Einleitung zeigt — auf die Klärung der Frage bezieht, ob eine Verbindung zwischen Flußwasser (Saale, Luppe, Elster) und dem Grundwasser vorliegt.

Sollte eine Verbindung bestehen, so könnte der Wasserverbrauch von oberirdischen Wasserläufen her ausgeglichen werden, so daß eine Grundwasser-Absenkung mit ihren für die Landwirtschaft schädigenden Folgen nicht als eine Auswirkung der Grundwasserentnahme anzusehen wäre. Diese Verhältnisse ließen sich vom Wasserverbraucher zugunsten seiner Einwirkung auf die Grundwasserverhältnisse heranziehen. Liegen die Beziehungen umgekehrt, so daß das Flußwasser gegenüber dem Grundwasser völlig isoliert ist, so wird mit einer schädigenden Beeinflussung auf die Vegetation durch Wasserentnahme unbedingt zu rechnen sein.

Die Untersuchungsmethoden werden sich demnach darauf beziehen müssen, die Frage, ob eine Wasserabgabe von den Flüssen her erfolgt oder nicht, auf verschiedene Weise zu klären.

I. Hydrologische Beobachtungen.

Anhand der Grundwasser-Isohypsenkarte ist feststellbar, in welcher Richtung die unterirdischen Wasserzuflüsse verlaufen. Gleichzeitig werden daraus ersichtlich die Linien gleicher Wassertiefe, so daß sich mit ihrer Hilfe Querprofile festlegen lassen, die sich durch die Aue von einem Fluß zum anderen erstrecken.

Mit Hilfe dieser Isohypsenkarte läßt sich ermitteln, wie die Grundwasserstände auf einer gleichen Höhenlinie beschaffen sind, und daraus lassen sich Schlüsse auf eine mögliche gegenseitige Beeinflussung bzw. die Unmöglichkeit einer gegenseitigen Beeinflussung ziehen, indem die Wasserstände der Flüsse Saale und Elster mit einbezogen werden.

Diese Beobachtungen sind gebunden an vorliegende Kontrollbrunnen

und Flußpegel, die regelmäßig von zuverlässiger Stelle beobachtet werden. Zunächst geben die Isohypsen ein übersichtliches Bild für den Wasserzustrom, der im allgemeinen parallel zu den Flußläufen festzustellen ist. Wie die Isohypsen anzeigen, sind allerdings auch Strömungsrichtungen zu verzeichnen, die die Flußläufe schneiden, so daß die Möglichkeit einer Wasserabgabe vom Fluß her auch auf Grund dieser Fließrichtungen durchaus bestehen könnte, aber eben noch näher bewiesen werden muß. Der Strömungsverlauf darf in der Nähe der Flußläufe im wesentlichen als hin- und herpendelnd angesehen werden — weil auch der Flußlauf Windungen aufweist — so daß das zunächst aus der Aue heraustretende Wasser später wieder in entgegengesetzter Richtung in den Bereich der Aue gelangt, um schließlich im Gebiet der Wassergewinnungsanlagen des Städtischen Wasserwerkes zu einer beträchtlichen Sammlung zu kommen, die sodann durch die Ausbildung von Grundwassertrichtern besonders gefördert wird, indem durch eine künstliche Spiegelabsenkung mit einem bedeutenden Zustrom gerechnet werden darf.

a) Schwankungen von Fluß- und Grundwasserständen mit graphischen Darstellungen.

Die der Arbeit beigegebene Karte (vgl. S. 17) veranschaulicht den Verlauf der Isohypsen. Gleichzeitig wurden zur Verdeutlichung der Profile die einzelnen Kontrollbrunnen auf dem Kartenausschnitt eingetragen, deren Beobachtungen zur Auswertung vorlagen. Die Profile verlaufen im allgemeinen parallel mit den Hauptrichtungen der Grundwasserisohypsen, in der Flußnähe nehmen sie jedoch einen abweichenden Verlauf. Die Profile sind bezeichnet vom Süden nach Norden der Reihe nach mit I bis VI.

Indem möglichst in der Nähe der Flußläufe befindliche Beobachtungsbrunnen herangezogen werden, lassen sich gewisse Schlüsse über die Verhältnisse zwischen der gegenseitigen Beeinflussung vom Grundwasser und oberirdischen Wasserlauf machen.

Die Angaben, die den Beobachtungen eines bestimmten Tages entnommen werden, sind sämtlich bezogen auf NN, damit eine zutreffende Schlußfolgerung möglich ist. Die Profile wurden überhöht gezeichnet, um einerseits weite Strecken auf kleinem Raum zu bringen, andererseits aber auch die Höhenunterschiede besonders anschaulich werden zu lassen.

Die hier für die Profile I bis VI beigegebenen Zeichnungen[5]) berücksichtigen die Verhältnisse bei Hochwasser und während Trockenperioden. Gerade in diesen Extremzeiten werden ja gegenseitige Beeinflussungen besonders gut zum Ausdruck kommen.

In die Profile sind die Wasserstände vom 20. 9. 1929, 28. 11. 1930 und 15. 5. 1936 eingetragen. Die Angaben sind für bestimmte Wasserverhält-

[5]) Vgl. S. 21 und 25.

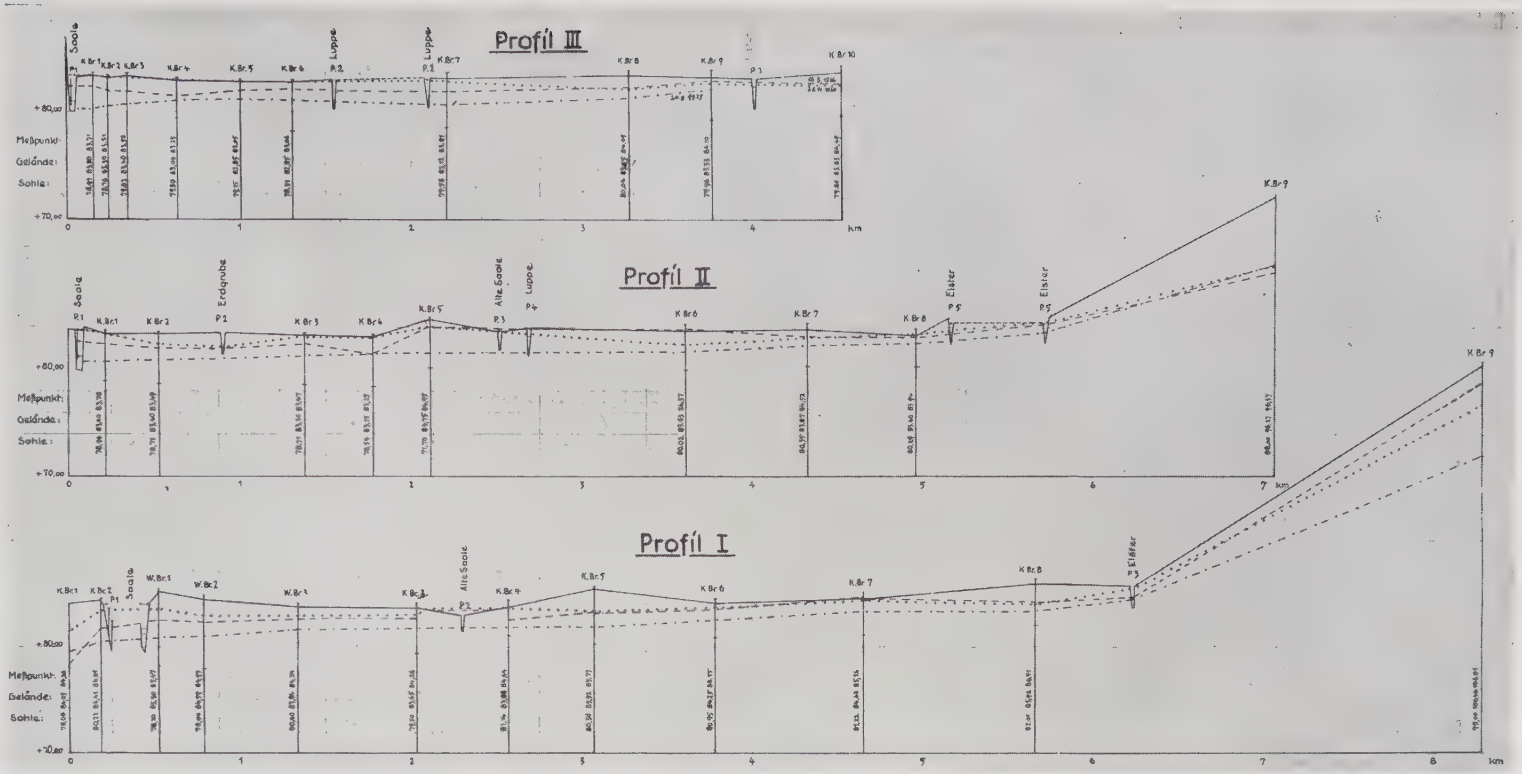

Abb. 6. Grund- und Flußwasserstände zu verschiedenen Zeiten.

– Mailinie
Novemberlinie
· –·–·–·– Septemberlinie.

nisse charakteristisch und danach ausgewählt. Die Septemberlinie gibt den Niedrigststand an infolge Fehlen der Niederschläge, die Novemberlinie bezeichnet den Höchststand, der durch starke Niederschläge eintrat[6]), die Mailinie bezieht sich auf einen Durchschnittswert.

Die Verhältnisse am 20. 9. 1929, die in den Profilzeichnungen durch die unterste Linie angegeben werden und sich in einer tabellarischen Zusammenstellung auf der folgenden Seite befinden, liefern folgendes Bild:

Im Profil I finden wir am linken Saaleufer einen Abfall, der sich nach der Seite zu weiter verstärkt. Vom rechten Ufer abwärts treffen wir einen Anstieg, der in Anpassung an das Gelände erfolgt, in der Nähe der Elster eine gewisse Zunahme erfährt; auf dem anderen Elsterufer nimmt der Anstieg weiter zu. Aus der Profilzeichnung ist zu ersehen, daß das Grundwasser von der Elster her einen gewissen Abfall erfährt, also ein Zustrom zur Saale vorliegt.

Betrachten wir den Grundwasserverlauf in der Nähe des rechten Saaleufers, so ist hier festzustellen, daß das Grundwasserniveau entgegen dem Geländeanstieg verläuft, also einen gewissen, wenn auch sehr geringen Abfall erfährt. Dieser Abfall steht im Gegensatz zu den sonst vorliegenden Verhältnissen, die als eine gewisse Norm anzusehen sind und eine Anpassung des Grundwassers an den Verlauf des Geländes zeigen. Diese Tatsache darf als Aufschluß herangezogen werden, der zumindest klarlegt, daß ein Übertritt vom Flußwasser in das Grundwasser nicht erfolgt. Ob eine Speisung des Flusses mit Grundwasser vorliegt, kann nicht als irgendwie erwiesen angesehen werden. Hier haben vielmehr besondere Untersuchungen zu erfolgen, die jedoch auf anderem Gebiete liegen und später auszuführen sein werden.

Im Gebiete der Elster darf mit einem bedeutenden Grundwasserzustrom gerechnet werden, der schon durch den steileren Abfall zum Ausdruck kommt. Das Grundwasser wird hier unter der Elster durchfließen und in unmittelbarer Nähe der Elster eine Anstauung erfahren, die in anderem Zusammenhange bei praktischen Untersuchungen auch nachgewiesen ist. Diese Anstauung darf nicht als ein Argument für den Wasserübertritt aus dem Fluß in das Grundwasser angesehen werden, vielmehr liegen besondere Druckverhältnisse vor, zu denen eine stauende Einwirkung des Flußbettes hinzukommt, das in den Grundwasserstrom hineinragt.

Profil II gibt ähnliche Verhältnisse. In Besonderheit tritt noch die Luppe in den Kreis der Betrachtungen, die einen tieferen Wasserstand besitzt als das Grundwasser. Hier kann mit der Möglichkeit eines Übertrittes vom Grundwasser in den oberirdischen Wasserlauf durchaus gerechnet werden, wenn die Feststellungen einen Zusammenhang natürlich auch noch nicht als erwiesen erscheinen lassen.

Noch deutlicher werden diese Unterschiede bei der Luppe in Profil III.

[6]) Der Höchststand fällt normalerweise in das Frühjahr, er entspricht also hier nicht der Normalzeit.

Fluß- und Grundwasserspiegelstand am 20. 9. 1929.

Profil															
I	KBr. 1	KBr. 2	Saale	WBr. 1	WBr. 2	WBr. 3	KBr. 3	alt. S.	KBr. 4	KBr. 5	KBr. 6	KBr. 7	KBr. 8	Elster	KBr. 9
	79,56	80,47	81,74	80,88	80,98	81,78	81,80	81,82	81,84	81,85	82,56	83,37	83,38	84,48	trocken
II	Saale	KBr. 1	KBr. 2	P. 2	KBr. 3	KBr. 4	KBr. 5	alt. S.	Luppe	KBr. 6	KBr. 7	KBr. 8	Elster	KBr. 9	
	81,30	80,77	80,99	81,68	81,37	81,50	81,65	82,04	81,49	81,69	82,34	82,53	83,56	89,93	
III	Saale	KBr. 1	KBr. 2	KBr. 3	KBr. 4	KBr. 5	KBr. 6	Luppe	KBr. 7	KBr. 8	KBr. 9	Elster	KBr. 10		
	81,02	80,31	80,51	80,78	81,03	81,12	81,12	80,76	80,78	81,43	82,08	82,36	—.—		
IV	KBr. 1	KBr. 2	Saale	KBr. 3	KBr. 4	KBr. 5	KBr. 6	Luppe	KBr. 7	KBr. 8	KBr. 9	Elster	KBr. 10		
	84,98	83,98	80,99	80,18	80,59	80,56	80,48	80,33	80,66	80,71	80,89	82,18	—.—		
V	KBr. 1	Saale	KBr. 2	KBr. 3	KBr. 4	KBr. 5	KBr. 6	KBr. 7	KBr. 8	Elster	KBr. 9	WBr. 1			
	—.—	80,41	79,90	79,65	79,81	79,85	79,76	—.—	—.—	—.—	—.—	—.—			
VI	KBr. 1	Saale	KBr. 2	KBr. 3	KBr. 4	KBr. 5	KBr. 6	KBr. 7	KBr. 8	KBr. 9	Elster	WBr. 1			
	94,30	79,74	79,58	79,60	79,61	79,30	—.—	78,68	79,00	—.—	—.—	—.—			

Fluß- und Grundwasserspiegelstand am 28. 11. 1930.

Profil															
I	KBr. 1	KBr. 2	Saale	WBr. 1	WBr. 2	WBr. 3	KBr. 3	alt. S.	KBr. 4	KBr. 5	KBr. 6	KBr. 7	KBr. 8	Elster	KBr. 9
	81,41	83,38	83,92	83,56	82,91	82,90	83,00	84,48	83,60	83,17	83,75	84,36	84,00	85,25	102,71
II	Saale	KBr. 1	KBr. 2	P. 2	KBr. 3	KBr. 4	KBr. 5	alt. S.	Luppe	KBr. 6	KBr. 7	KBr. 8	Elster	KBr. 9	
	83,82	83,58	82,42	82,16	83,04	83,00	84,03	84,87	83,09	82,34	83,00	83,44	84,39	89,66	
III	Saale	KBr. 1	KBr. 2	KBr. 3	KBr. 4	KBr. 5	KBr. 6	Luppe	KBr. 7	KBr. 8	KBr. 9	Elster	KBr. 10		
	83,42	83,40	83,26	83,20	83,00	82,85	82,85	83,00	82,99	82,09	82,72	83,36	82,49		
IV	KBr. 1	KBr. 2	Saale	KBr. 3	KBr. 4	KBr. 5	KBr. 6	Luppe	KBr. 7	KBr. 8	KBr. 9	Elster	KBr. 10		
	85,27	83,79	83,25	83,21	82,50	83,00	82,75	—.—	82,39	81,96	81,78	83,14	82,49		
V	KBr. 1	Saale	KBr. 2	KBr. 3	KBr. 4	KBr. 5	KBr. 6	KBr. 7	KBr. 8	Elster	KBr. 9	WBr. 1			
	—.—	81,81	82,65	81,55	81,91	81,17	79,91	81,15	81,15	81,00	81,15	80,60			
VI	KBr. 1	Saale	KBr. 2	KBr. 3	KBr. 4	KBr. 5	KBr. 6	KBr. 7	KBr. 8	KBr. 9	Elster	WBr. 1			
	92,27	81,52	82,08	82,07	81,57	81,20	81,78	79,62	80,39	81,22	80,82	80,60			

An der Saale finden wir wieder einen erheblich tieferen Grundwasserstand, der vom Ufer an gleichmäßig aufsteigt, so daß aus diesen Verhältnissen darauf geschlossen werden darf, daß ein Übertritt vom Saalewasser in das Grundwasser keinesfalls vorliegt.

Über die Verhältnisse bei der Elster läßt sich nichts Genaueres aussagen, da hier die betreffenden Messungen fehlen.

Im Profil IV kommt auch im Grundwasserstand der links von der Saale vorliegende Geländeanstieg zum Ausdruck. Rechts von der Saale ergibt sich wieder ein Abfall, der einen Grundwasserzustrom unter der Saale verdeutlicht. Die Luppe steht wieder tiefer als das Grundwasser. Rechts von der Luppe ist mit einem Wasserzustrom von der anderen Seite her zu rechnen, der in beiden Fällen auch in südlicher Richtung anzunehmen ist, so daß diesem Zustrom eine nördliche Richtung zukommt. Die gegenüber den Grundwasserverhältnissen bei der Elster vorliegende Erhöhung ist als eine Anpassung an das Gelände zu deuten, wobei sicher zu einem Teile auch der beiderseitige Zustrom mitspricht, der hier eine Vereinigung erfährt.

Profil V gibt lediglich Aufschlüsse über die Verhältnisse bei der Saale, da die übrigen Messungen fehlen. Wir finden einen Abfall saaleabwärts, dem wieder ein Anstieg folgt, der dem Gelände entspricht.

Im Profil VI kommt eine Geländeanpassung zum Ausdruck, die insbesondere linksseitig der Saale einen beträchtlichen Zustrom bezeichnet. Rechtsseitig der Saale folgt ein Anstieg, der allerdings entgegen den Geländeverhältnissen verläuft, dafür aber einen sicheren Beweis liefert, daß mit einem Wasserübertritt aus der Saale nicht zu rechnen ist. Für die Elster liegen keine Beobachtungen vor.

Die Beobachtungen vom 28. 11. 1930 zeigen ein anderes Ergebnis, das insbesondere durch die vorliegenden Hochwasserverhältnisse bedingt wird.

Im Profil I ergibt sich für die Flußläufe ein merklich höherer Stand als für das Grundwasser. Verfolgen wir die Grundwasserstände im einzelnen, so ist ein seitlicher Abfall — von den Flußläufen gerechnet — zu verzeichnen. Dieser Abfall belegt ohne jeden Zweifel, daß ein Übertritt vom Flußwasser in das Grundwasser vorliegt, indem der Fluß seine Verschlammungsgrenze übertreten hat. Bei der alten Saale liegen die Verhältnisse sogar so, daß eine bedeutende Überschwemmung eingesetzt hat, indem das überschüssige Flußwasser nicht restlos vom Grundwasser aufgenommen wird und damit eine Verbreiterung des oberirdischen Laufes verbunden ist. Die Verhältnisse bei der Elster sind mit denen bei der Saale zu parallelisieren.

Auch Profil II veranschaulicht einen deutlichen Grundwasseranstieg in der Nähe der Flußläufe, der wiederum mit einem Wasserübertritt erklärt werden muß infolge einer Überschreitung der Verschlammungsgrenze. Auffallend ist der niedrige Wasserstand beim Kontrollbrunnen 6, der anzeigt, wie das Grundwasser hier nur wenig gestiegen ist, also so gut

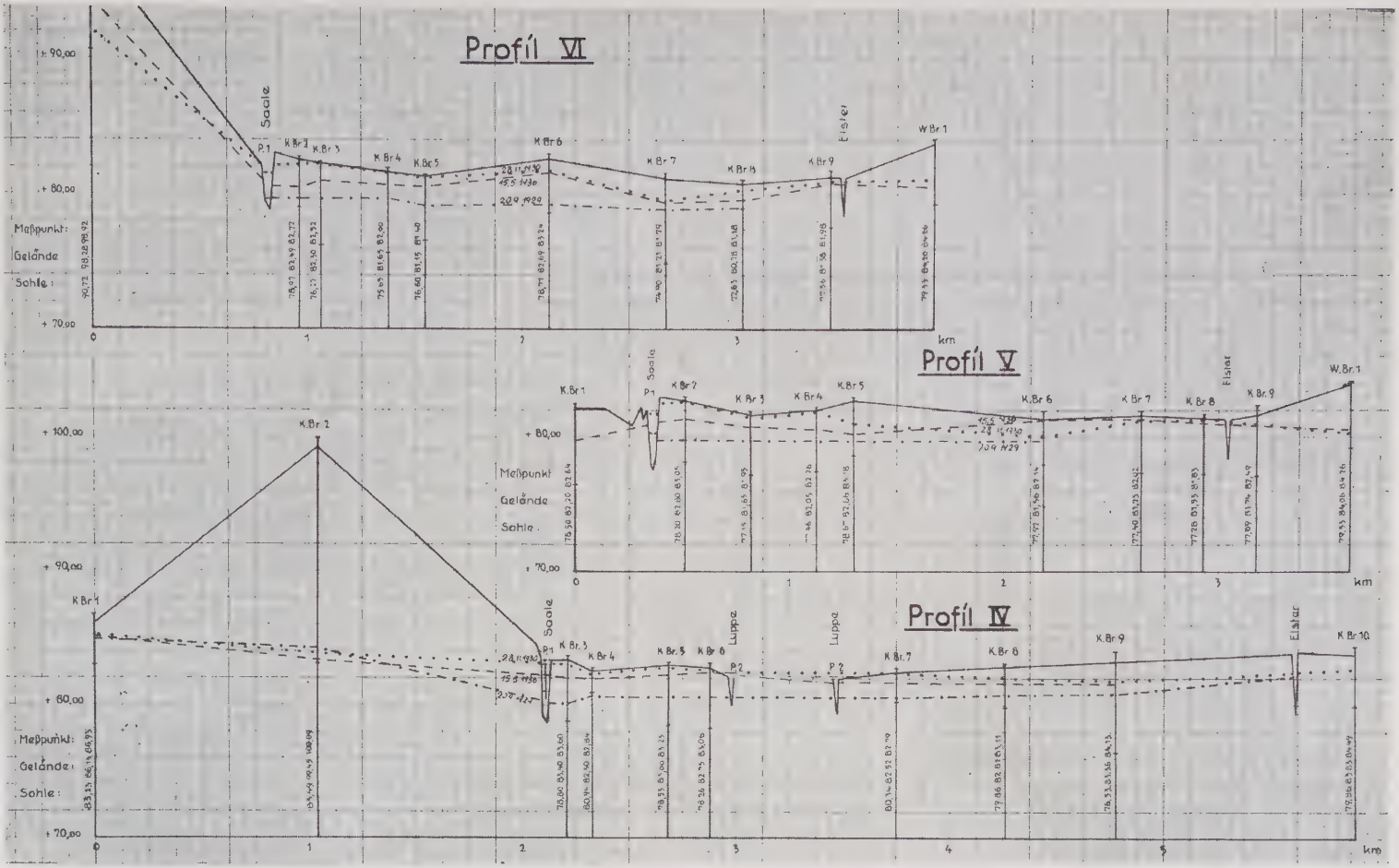

Abb. 7. Grund- und Flußwasserstände zu verschiedenen Zeiten.

wie kaum von den seitlichen Zuflüssen der oberirdischen Wasserläufe her beeinflußt wird.

Nimmt man an dieser Stelle die Grundwasserverhältnisse vom 15. 5. 1936 voraus, so ist zu sehen, wie hier durch einen erheblichen Anstieg des Flusses erst ziemlich spät die Grundwasserzunahme durch die normalerweise im Frühjahr einsetzenden Hochwasserverhältnisse zum Ausdruck kommt, sie dann aber auch durch einen hier später erfolgenden Abfluß länger vorhalten.

Profil III bringt die gleichen Verhältnisse zum Ausdruck. Die Grundwasserhöhen sind gegenüber Profil II mehr dem Gelände angepaßt. Das darf dadurch erklärt werden, daß infolge der mehr nördlichen Lage und des hier intensiver vorliegenden Grundwasserzusammenstromes eine schnellere Auffüllung der freien Räume gegeben ist.

Eine anschauliche Grundwasserhebung in der Nähe der Flußläufe gibt das Profil IV, so daß hier ein Übertritt des Flußwassers unbedingt klar liegt. Das gleiche Bild liefert Profil V.

Profil VI gibt neben einem seitlichen Grundwasserzustrom, der den Darlegungen vom 20. 9. 1929 durchaus entspricht, einen gewissen Wasserübertritt, wie ihn die anderen Profile infolge des hier weniger ansteigenden Geländes günstiger zum Ausdruck bringen.

Die Beobachtungen vom 14.-11. 1930 sind insofern für die Beurteilung der Spiegelschwankungen wichtig, als mit diesem Zeitpunkt der Anstieg des Grundwassers infolge vorausgegangener starker Niederschläge einsetzte. Dieser Anstieg erhielt ein Maximum am 28. 11. 1930, was soeben besprochen wurde.

In Profil I hat die Saale einen niedrigeren Stand als das Grundwasser der benachbarten Kontrollbrunnen rechts der Saale. Die Tatsache, daß das Grundwasser von der Saale abwärts bis zum Kontrollbrunnen 3 allmählich ansteigt, beweist, daß der Übertritt des Flußwassers aus der Saale noch nicht erfolgt war. Die Verschlammungszone ist trotz des erheblichen Anstieges der Saale noch nicht überschritten. Linksseitig der Saale ist zwar ein Fallen des Grundwassers von der Saale abwärts zu verzeichnen, doch dieses ist lediglich eine Anpassung an den Geländeverlauf. Die alte Saale hat einen niedrigeren Stand als das Grundwasser links davon. Rechtsseitig der alten Saale steigt das Grundwasser allmählich bis zur Elster an, was in analoger Weise zur Saale ebenfalls beweist, daß auch das Flußwasser der alten Saale noch nicht übergetreten ist. Die Elster steht höher als das Grundwasser auf dem linken Ufer, während rechtsseitig der Elster der starke Anstieg des Grundwassers lediglich der Geländeanpassung zuzuschreiben ist. Das Grundwasser im Kontrollbrunnen 9 hat schon seinen höchsten Stand erreicht; während das Grundwasser im ganzen übrigen Profil bis zum 28. 11. weiter zunimmt, geht dieser Brunnen sogar etwas zurück. Der Umstand, daß der zunehmende Anstieg südlich der Elster keinen Einfluß auf den Brunnen nördlich der Elster ausübt, bestätigt, daß der Grundwasserzustrom von nördlich der Elster erfolgt.

Fluß- und Grundwasserspiegelstand am 14. 11. 1930.

Profil															
I	KBr. 1	KBr. 2	Saale	WBr. 1	WBr. 2	WBr. 3	KBr. 3	alt. S.	KBr. 4	KBr. 5	KBr. 6	KBr. 7	KBr. 8	Elster	KBr. 9
	80,30	81,60	82,10	82,12	82,13	82,31	82,92	82,63	82,57	82,63	83,03	83,76	83,68	84,77	102,72
II	Saale	KBr. 1	KBr. 2	P. 2	KBr. 3	KBr. 4	KBr. 5	alt. S.	Luppe	KBr. 6	KBr. 7	KBr. 8	Elster	KBr. 9	
	81,98	81,32	81,76	81,74	81,97	81,48	82,43	82,92	82,29	81,96	82,62	82,97	83,86	89,66	
III	Saale	KBr. 1	KBr. 2	KBr. 3	KBr. 4	KBr. 5	KBr. 6	Luppe	KBr. 7	KBr. 8	KBr. 9	Elster	KBr. 10		
	81,60	81,65	81,59	81,56	81,67	81,78	81,78	81,82	81,31	81,64	82,45	82,75	82,37		
IV	KBr. 1	KBr. 2	Saale	KBr. 3	KBr. 4	KBr. 5	KBr. 6	Luppe	KBr. 7	KBr. 8	KBr. 9	Elster	KBr. 10		
	85,27	83,79	81,47	81,49	81,55	81,56	81,62	81,61	81,15	81,12	81,16	82,55	82,37		
V	KBr. 1	Saale	KBr. 2	KBr. 3	KBr. 4	KBr. 5	KBr. 6	KBr. 7	KBr. 8	Elster	KBr. 9	WBr. 1			
	—.—	81,11	81,24	80,14	79,93	79,87	79,81	80,10	80,55	80,76	80,36	80,17			
VI	KBr. 1	Saale	KBr. 2	KBr. 3	KBr. 4	KBr. 5	KBr. 6	KBr. 7	KBr. 8	KBr. 9	Elster	WBr. 1			
	92,30	80,84	80,69	80,67	80,38	79,80	81,27	78,87	79,11	80,50	80,59	80,17			

Fluß- und Grundwasserspiegelstand am 15. 5. 1936.

Profil															
I	KBr. 1	KBr. 2	Saale	WBr. 1	WBr. 2	WBr. 3	KBr. 3	alt. S.	KBr. 4	KBr. 5	KBr. 6	KBr. 7	KBr. 8	Elster	KBr. 9
	78,34	81,70	81,24	82,48	82,35	82,67	82,78	84,32	82,48	83,28	83,76	H.W.	84,11	84,68	104,81
II	Saale	KBr. 1	KBr. 2	P. 2	KBr. 3	KBr. 4	KBr. 5	alt. S.	Luppe	KBr. 6	KBr. 7	KBr. 8	Elster	KBr. 9	
	82,72	82,34	81,99	82,00	82,38	81,52	84,01	84,82	84,13	H.W.	83,19	83,17	84,12	89,36	
III	Saale	KBr. 1	KBr. 2	KBr. 3	KBr. 4	KBr. 5	KBr. 6	Luppe	KBr. 7	KBr. 8	KBr. 9	Elster	KBr. 10		
	82,42	82,34	81,94	81,85	81,52	82,02	82,29	83,36	81,83	82,33	82,77	83,32	82,69		
IV	KBr. 1	KBr. 2	Saale	KBr. 3	KBr. 4	KBr. 5	KBr. 6	Luppe	KBr. 7	KBr. 8	KBr. 9	Elster	KBr. 10		
	85,31	83,40	82,31	82,25	82,03	82,21	82,47	82,89	81,54	81,56	81,67	83,10	82,69		
V	KBr. 1	Saale	KBr. 2	KBr. 3	KBr. 4	KBr. 5	KBr. 6	KBr. 7	KBr. 8	Elster	KBr. 9	WBr. 1			
	79,92	81,99	81,59	80,84	80,58	80,32	H.W.	81,03	81,11	81,30	80,84	80,56			
VI	KBr. 1	Saale	KBr. 2	KBr. 3	KBr. 4	KBr. 5	KBr. 6	KBr. 7	KBr. 8	KBr. 9	Elster	WBr. 1			
	94,58	81,74	80,57	81,06	80,70	80,55	81,89	79,40	79,72	80,89	81,12	80,56			

Im Profil II steht zwar die Saale höher als das Grundwasser der Kontrollbrunnen rechtsseitig davon, doch ist hier ein allmählicher Anstieg des Grundwassers von der Saale bis zum Kontrollbrunnen 3 zu verzeichnen, was darauf schließen läßt, daß ein Übertritt von Flußwasser aus der Saale noch nicht erfolgt ist. Ähnlich liegen die Verhältnisse bei der alten Saale und Luppe. Während der Spiegel der beiden Flüsse eine bedeutende Erhöhung erfahren hat, ist das Grundwasser nur unwesentlich von seinem mittleren Stand abgewichen. Erst in den nachfolgenden vierzehn Tagen ist das Grundwasser beträchtlich gestiegen. Der Übertritt des Flußwassers wird etwa zur Zeit der Beobachtung erfolgt sein, die Auswirkungen haben sich jedoch erst einige Tage später gezeigt. Der merkliche Abfall des Grundwassers vom Kontrollbrunnen 5 nach 4 darf nicht als Folgeerscheinung eines Übertrittes vom Flußwasser aus der alten Saale gedeutet werden, sondern ist vielmehr als eine Anpassung des Grundwasserspiegels an die stark abfallende Geländeform zu betrachten.

Das Grundwasser im Kontrollbrunnen 9 ist noch vollständig in Ruhe. Da das Gelände nördlich der Elster stark ansteigt, werden sich die vom Süden kommenden Grundwasserspiegel-Schwankungen mit erheblicher Verzögerung dem nördlichen Gelände mitteilen.

Profil III zeigt ähnliche Verhältnisse wie die Profile I und II. Das Grundwasser im benachbarten Brunnen rechtsseitig der Saale steht hoher als der Flußwasserspiegel; obwohl das Grundwasser vom Saaleufer rechtsseitig allmählich abfällt, kann hier ein Übertritt noch nicht festgestellt werden; das allmähliche Steigen des Grundwassers nach der Saale zu ist vielmehr als eine Anstauung zu betrachten.

Die Luppe ist infolge der starken Niederschläge erheblich angestiegen. Der Übertritt des Flußwassers aus der Luppe setzt gerade ein, denn im Grundwasser ist bereits linksseitig der Luppe entgegen der ansteigenden Geländeform eine Neigung nach dem Süden eingetreten. Bei der Elster liegen die Verhältnisse anders; das Grundwasser hat hier infolge Übertrittes der Elster eine merkliche Bereicherung erfahren, das beweist die Neigung des Grundwasserspiegels von dem linken Elsterufer abwärts.

Auch bei Profil IV liegt der Flußwasserstand unter dem Grundwasserstand rechtsseitig des Saaleufers; es wird dadurch klar, daß sich die Verschlammungsgrenze an dieser Stelle der Saale noch oberhalb des angegebenen Flußwasserspiegels befinden muß. Linksseitig der Saale ist ein erheblicher Grundwasseranstieg zu verzeichnen, der durch den steilen Geländeverlauf bedingt ist. Die Tatsache, daß auch bei Kontrollbrunnen 1 trotz fallenden Geländeverlaufes ein weiteres Steigen des Grundwasserspiegels vorliegt, bestätigt die Annahme, daß an dieser Stelle das Grundwasser zum linken Saaleufer hin fällt und möglicherweise unter dem Saalebett hindurch nach rechts sich fortsetzt. Bei der Luppe durfte die Verschlammungsgrenze noch nicht erreicht sein, denn der geringe Anstieg des Grundwassers im Kontrollbrunnen 6 ist als eine

Folge der Anstauung, nicht aber des Übertrittes vom Flußwasser anzusehen. Bei der Elster ist ähnlich dem Profil III bereits der Übertritt vom Flußwasser erfolgt, da das Grundwasser linksseitig der Elster eine flache Neigung vom Flußufer abwärts zeigt.

Bei Profil V scheidet die Luppe aus. Das Verhältnis der Saale zum Grundwasser ist dasselbe wie bei Profil IV, während die Elster hier noch nicht übergetreten ist.

Bei Profil VI ist der bedeutende Grundwasseranstieg linksseitig der Saale dem steilen Geländeverlauf zuzuschreiben. Hiermit hängt auch der allmähliche Abfall des Grundwassers rechtsseitig der Saale zusammen, die Beziehungen sind ähnlich dem Profil V.

Da wir uns hier dem Grundwasser-Entnahmegebiet nähern, so wird der Zustrom von linksseitig her umso stärker, je stärker der Absenkungstrichter ausgebildet ist.

Ein interessantes Bild zeigen die Beobachtungen vom 15. 5. 1936 (s. Tabelle Seite 27). Hier liegt eine Zeit vor, in der infolge der vorangegangenen Schneeschmelzen sowie bedeutenden Niederschlagsmengen der Grundwasserhöchststand gerade überschritten ist. Die Grundwasserbereicherung darf als ein für die Vegetation bedeutsamer Faktor angesprochen werden, ohne daß damit zum Ausdruck gebracht werden darf, daß ein restloser Wasserverbrauch dieser Anreicherung durch die Vegetation im Laufe der bevorstehenden Vegetationsperiode erfolgt. Denn wir treffen überall in der Natur Erscheinungen an, die zur Schaffung eines bedeutenden Überflusses eines Produktes neigen, ohne daß ein restloser Konsum erfolgt, sondern ein großer Teil dieses Überflusses unverbraucht bleibt.

Dabei muß hervorgehoben werden, daß allein der durch die Grundwasserbereicherung erzielte Hochstand des Wasserspiegels für die Entwicklung der Vegetation ausschlaggebend ist, indem der Weg zu den Pflanzenwurzeln damit verkürzt und die dem aufwärts gerichteten Wassertransport dienenden Rekondensationserscheinungen[7]) erleichtert werden. Ein Wasserverbrauch durch künstliche Grundwasserentnahme kann damit unbedingt auch während dieser an sich für den Grundwasserstand günstigen Zeiten eine wesentliche Schädigung erzeugen, indem eine solche Senkung eintritt, die im Falle einer Kulturlandschaft eine Verschlechterung der vegetativen Entwicklungsmöglichkeiten nach sich zieht. Diese Gesichtspunkte sind unbedingt bei der Beurteilung von Wasserentziehungsfragen sowie möglichst auch schon vorher bei der Anlage von Wasserentnahmevorrichtungen zu beachten.

Für die Auswertung der vom 15. 5. 1936 vorliegenden Daten ist es wichtig zu wissen, daß die Wasserstände der Flußläufe Mittelwerte bezeichnen, während im Grundwasser Hochstände angetroffen wurden, über deren Bedeutung ja eben nähere Ausführungen vorangingen. Daraus ist ersichtlich, daß ein oberirdischer Wassertransport innerhalb be-

7) Vgl. ISERT, 1937.

trächtlich kürzerer Zeiträume erfolgt und die Möglichkeit als durchaus geltend angesprochen werden darf, daß ein Grundwasserstrom und ein gewissermaßen mit dem höheren Stand verbundener Überdruck einen je nach der Beschaffenheit des Flußbettes vorliegenden stärkeren oder schwächeren Wasserübertritt in den Fluß nach sich zieht.

Im Bereiche des Kontrollbrunnens 7 im Profil I tritt ein bedeutender Wasseraufstieg ein, der auch bei früheren Untersuchungen zu beobachten ist. Der Aufstieg ist bei den Beobachtungen vom 20. 9. 1929 nur gering, bei den Untersuchungen vom 28. 11. 1930 schon stärker, während der jetzigen Untersuchungsreihe aber ganz besonders betont. Dieser Aufstieg darf geklärt werden als eine Folge des Zusammenstromes der seitlichen Grundwasserzuflüsse von der linken sowie rechten Seite der Aue her, die hier eine Anreicherung mit sich bringt, welche nach einem räumlichen Ausgleich sucht, der entsprechend den vorliegenden Wassermengen erfolgt.

Im Profil II finden sich diese Verhältnisse wieder, die allerdings gewisse Verzerrungen durch den noch hohen Wasserstand der alten Saale erfahren, die ihrerseits eine Wasseranreicherung für das Grundwasser durch entsprechenden Übertritt nach sich zieht.

Im Profil III kommt zum Ausdruck, daß mit einem gewissen Wasserübertritt aus der Elster noch gerechnet werden darf.

Profil IV bringt eine Geländeanpassung zum Ausdruck, die schon früher festzustellen war. Infolge der größeren seitlichen Geländeabfälle kann hier mit einem besonders gut ausgeprägten Grundwasserzustrom gerechnet werden, der aber schon durch den Wasserentzug kompensiert wird.

Aus Profil V und VI spricht ein Wasserübertritt aus der Elster, der insbesondere ein linksseitiges Absinken nach sich zieht, das auf dem rechten Ufer infolge des vorliegenden Geländeanstieges nicht so ausgeprägt zum Ausdruck gelangen kann. Bei der Saale ist eine gute Abschirmung durch die Verschlammung des Flußbettes ersichtlich, die eine Unabhängigkeit der Grundwasserstände vom Flußwasser bewirkt.

b) Gegenüberstellung der Ganglinien vom Fluß- und Grundwasser bzw. Niederschlägen.

Grundwasserstand und Flußwasserstand sind abhängig von den jeweils erfolgten Niederschlägen, den Zwischenperioden, die ohne beträchtliche oder überhaupt ohne Niederschläge waren, sowie vom Wasserkonsum, der beim Fluß durch direkte Verdunstung, beim Grundwasser durch einen von der Vegetation her bedingten Verbrauch und von künstlicher Entnahme abhängt. Eine Bindung an die örtlichen Niederschläge liegt nicht vor; es können erhebliche Niederschläge im Bereich des Oberlaufes der Flüsse mitspielen, die sowohl für Fluß- als auch für Grundwasser von Bedeutung sind. Wichtig für eine Beurteilung ist dabei, daß der oberirdische Wasserstrom schneller fließt als der Grundwasserzustrom erfolgt.

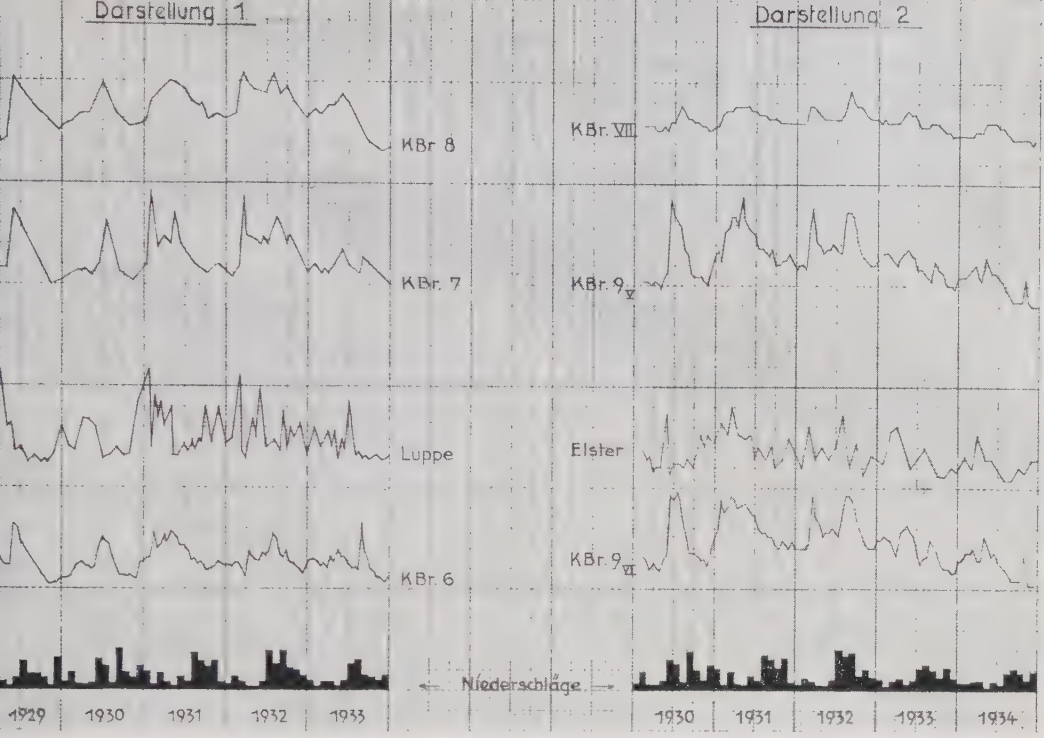

Abb. 8. Gegenüberstellung der Ganglinien von Fluß- und Grundwasser sowie Niederschlägen.

Eine gegenseitige Beeinflussung im Beobachtungsgebiet infolge Niederschlägen und deren Nacherscheinungen läßt sich auf dem Wege über eine graphische Darstellung der Schwankungen von Grundwasser- und Flußwasserständen aufzeigen. Unter Hinzunahme der Niederschlagsmengen ergeben sich zugleich Folgerungen, die sich im Anschluß an das Untersuchungsgebiet durchführen lassen.

Es sind einige solcher Darstellungen beigefügt, die im Grunde stets das gleiche, oder zumindest ein sehr ähnliches Bild zeigen. Dabei handelt es sich um die Darstellung der bekannten Profile, aus denen Ausschnitte herausgenommen sind, die sich auf einen oberirdischen Wasserlauf, sowie auf einige in der Nähe und weiter entfernt befindliche Kontrollbrunnen beziehen.

Die Kurven sind so eingetragen, daß sie der örtlichen Lage entsprechend übereinander liegen und im gleichen Maßstab die jeweiligen Stände bzw. Schwankungen wiedergeben, wobei die waagerechte Achse der Zeit dient, während die vertikale Achse die Schwankungen im gleichen Maßstab bezogen auf eine jeweilige besondere Nullinie wiedergibt.

Die Kurven erstrecken sich über mehrere Jahre, damit Zufälligkeiten überdeckt werden, die sonst unter Umständen zu falschen Schlüssen führen könnten. Die Eintragungen erfolgten auf Grund der vorliegenden vierzehntägigen Messungen.

Die Wahl der für die Aufstellung der Kurven heranzuziehenden Beobachtungsstellen erfolgte entsprechend den schon früher genannten Profilen, so daß Gegenüberstellungen zu den übrigen Teiluntersuchungen möglich waren. Es wurden solche Brunnen herangezogen, die sich in der Nähe der Flußläufe, sowie in größerer Entfernung von den Flußläufen befinden, um die Möglichkeit gegenseitiger Beeinflussung gut zum Ausdruck bringen zu können.

Die Darstellung 1 bezieht sich auf Profil III unter Berücksichtigung der Luppe, sowie der benachbarten Kontrollbrunnen.

Sehr ausgeprägte Schwankungen sind bei der Luppe zu finden. Die Hoch- und Niedrigwasserstände kommen gut zum Ausdruck und lassen sich gegenüber den Grundwasserständen in einen interessanten Vergleich bringen. Aus der graphischen Darstellung geht hervor, wie der oberirdische Wasserlauf größeren und mehr plötzlich erfolgenden Schwankungen unterliegt, die im Grundwasser nicht zu finden sind, wo infolge der geringeren Fließgeschwindigkeit ein gewisser Ausgleich vorliegt. Die langsamere Fließgeschwindigkeit bringt gegenüber der Flußwasserkurve ein Nachhinken mit sich, indem insbesondere die Maxima später als beim Fluß eintreten. Daraus darf ohne weiteres der Schluß gezogen werden, daß das Einströmungsgebiet der Elsteraue weit ausgedehnt ist und bis in die Oberläufe der Flüsse reicht. Denn, wenn ein wesentlicher Einfluß der Niederschläge unmittelbar in der Elsteraue bzw. in der nächsten Umgebung vorliegen würde, so dürfte man mit mehr plötzlich erfolgenden Schwankungen rechnen, die zeitlich mit denen der Flußläufe zusammenfielen.

Diese Kurven bringen anschaulich zum Ausdruck, was ULE (Stuttgart 1897) über die gegenseitigen Verhältnisse zwischen einsickerndem und abfließendem Wasser als Niederschlagsmenge sagt. Denn in dem Beobachtungsgebiet ist mit einem überwiegenden Abfluß zu rechnen, der den Flußläufen zukommt und hier die plötzlichen und bedeutenden Schwankungen bewirkt, während das Grundwasser von weiter entfernten Einströmungsbereichen abhängt.

Vergleicht man die in der Nähe des Flußlaufes befindlichen Brunnen mit den weiter entfernten, so zeigen sich gewisse Unterschiede, die für eine Auswertung von Bedeutung sind Es kommt nämlich zum Ausdruck, daß die Maxima bei diesen Kontrollbrunnen weniger ausgeprägt sind als bei denen, die sich in unmittelbarer Nähe der Flußläufe befinden. Die Kurven sind hier abgeflacht, während in den übrigen Teilen gute Übereinstimmungen vorliegen. Die Angleichung der Maximalwerte des Grundwassers an diejenigen des Flußwassers ist besonders ausgeprägt bei Hochwasserzeiten, d. h bei Übertritt des Flußwassers in das Grundwasser; die Angleichung kann aber auch durch eine gleichzeitig auftretende Anstauung des Grundwassers in der Flußnähe bewirkt werden, wodurch evtl. scheinbare Zusammenhänge vorgetäuscht werden können.

Aus dem Befund der Darstellung 1, der die in der Flußnähe befind-

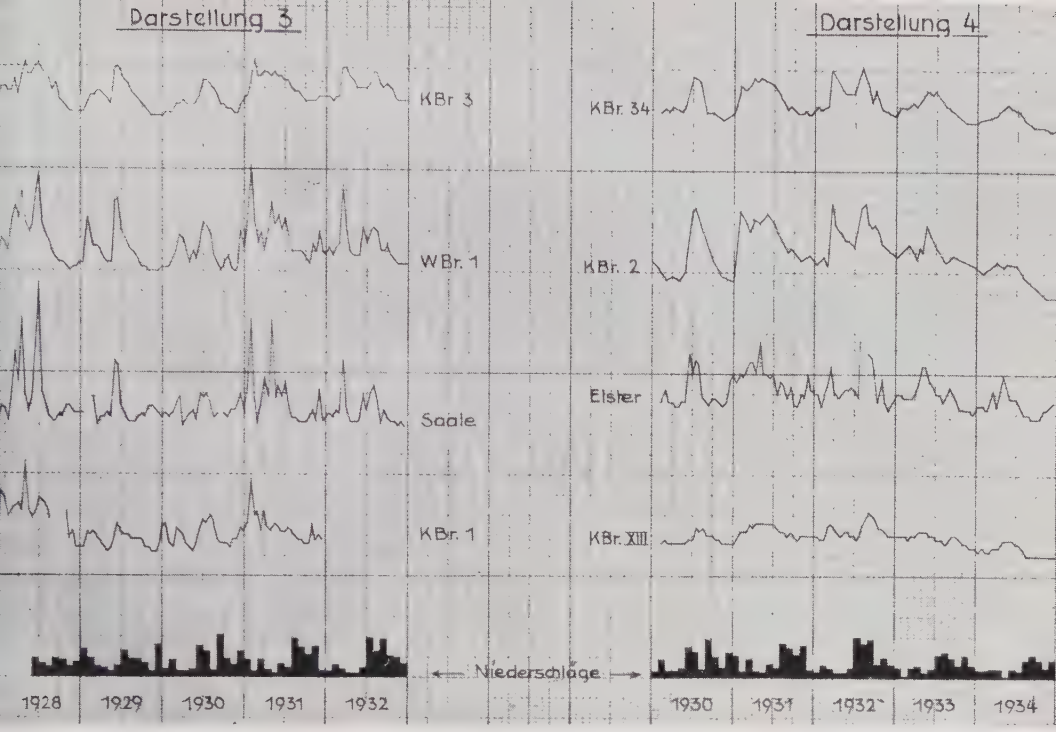

Abb. 9. Gegenüberstellung der Ganglinien von Fluß- und Grundwasser sowie Niederschlägen.

lichen Brunnen dem Flußwasser angleicht, muß gefolgert werden, daß lediglich während der Hochwasserzeiten ein Wasserübertritt, d. h. ein gegenseitiger Zusammenhang zwischen Fluß und flußnahen Brunnen vorliegt, der eine Angleichung nach sich zieht. Deshalb ist auch das Nachhinken der Maxima bei den in der Nähe der Flüsse befindlichen Brunnen geringer, als bei den mehr isoliert stehenden, was im allgemeinen klar ersichtlich ist.

Man wird sagen müssen, daß eine gegenseitige Beeinflussung nur bei Übertritt über die Verschlammungsgrenze vorliegt. Dieser Zusammenhang wirkt sich aber lediglich bei den in der Nähe der Flußläufe befindlichen Brunnen aus, wird also zweifellos für die Gesamtbewertung des Grundwasserstandes nur von geringerer, mehr örtlich gebundener Bedeutung sein.

Die Darstellung 2 bezieht sich auf die Profile V und VI. Der Kontrollbrunnen 9_{VI} liegt südlich der Elster in einer Entfernung von etwa 30 m. Der Kontrollbrunnen 9_{V} befindet sich in gleicher Entfernung nördlich der Elster. Die Spiegelschwankungen dieser beiden Brunnen entsprechen in ihrer Stärke den Schwankungen der Elster, während die Grundwasserspiegelkurve des in größerer Entfernung (650 m) von der Elster niedergebrachten Brunnens VIII stark abgeflacht ist. Die Maxima dieses Brunnens treten infolge der größeren Entfernung von der Elster mit erheblicher Verzögerung auf.

Die Darstellung 3 ist dem Profil I entnommen und schließt die Saale ein.

In Darstellung 4 ist die Elster östlich Döllnitz mit den Spiegelgängen der Brunnen XIII, 2 und 34 parallelisiert.

Aus dieser Gegenüberstellung geht deutlich hervor, daß sich der Maximalwert der Elster im Jahre 1934[8]) dem Grundwasser nicht mitgeteilt hat. Dieses muß als ein deutlicher Beweis der Unabhängigkeit zwischen Fluß- und Grundwasser bewertet werden.

Berücksichtigt man, daß alle hier gegebenen Gegenüberstellungen der Ganglinien vom Fluß- und Grundwasser stets das gleiche Bild liefern, so darf man daraus schließen, daß die Verhältnisse in der gesamten Aue als identisch aufzufassen sind.

II. Färbversuche.

Zusammenhänge zwischen verschiedenen Stellen auf dem Wege unterirdischer Wasserläufe lassen sich durch Anfärbung des Wassers ermitteln, sofern der Farbstoff eine noch sichtbare Verdünnung erfährt und andererseits keine Substanzen in den Weg eingeschaltet sind, die eine Absorption des Farbstoffes nach sich ziehen. Man wird ganz allgemein sagen müssen, daß ein Auftreten des Farbstoffes einen unbedingten Beweis für die Existenz von Zusammenhängen bedeutet, während ein Fehlen des Farbstoffes nicht mit voller Sicherheit auch auf das Fehlen einer gegenseitigen Verbindung schließen läßt.

Zur Färbung sind insbesondere solche Farbstoffe wichtig, die sich durch eine Sichtbarkeit in starker Verdünnung auszeichnen. Hierzu gehören Uranin und Fuchsin (H. SCUPIN, 1931). Zu den Untersuchungen, die an der Saale, Luppe und Elster vorgenommen wurden, gelangte Fuchsin zur Anwendung, das noch in einer Verdünnung von $1 : 10^7$ erkennbar ist.

Die Untersuchungen erfolgten so, daß gewisse Bereiche des Fluß- und Grundwassers durch Einfügen von Rohren mit weitem Durchmesser abgegrenzt wurden, die eine Zurückhaltung des Farbstoffes als Vorrat bewirkten und das fließende Wasser ausschlossen, das ja keine genauen Beobachtungen zugelassen hätte.

In das Flußbett wurden zwei Rohre eingebracht, die sich in unmittelbarer Nähe eines Kontrollbrunnens am Ufer etwas flußabwärts befanden. Eines dieser beiden Rohre gelangte derart in das Flußbett, daß es die Schlammschicht durchstieß und unmittelbar in das Grundwasser reichte. Daneben wurde ein zweites Rohr eingebracht, das gerade in den Schlamm ragte. Das erste Rohr wurde entschlammt, so daß eine völlige Verbindung mit dem Grundwasser vorlag und eine Einstellung des Wasserspiegels im Rohr erfolgte, die dem Wasserstand im Kontrollbrunnen entsprach.

Beim anderen Rohr, bei dem immerhin mit einer gewissen Verletzung der Schlammschicht des Flußbettes zu rechnen war, die infolge des Ein-

[8]) 1934 ist als ausgesprochenes Trockenjahr anzusehen.

bringens eintreten mußte, zeigten sich wesentliche Unterschiede im Wasserstand gegenüber dem Kontrollbrunnen, die über Tage hinaus konstant blieben, so daß unbedingt mit einer Unabhängigkeit zwischen Grundwasser und Rohrwasser zu rechnen war. Das Rohrwasser kann in diesem Falle versuchsmäßig mit dem Flußwasser im Hinblick auf seine Bedeutung identifiziert werden.

Zur Durchführung der Untersuchungen wurden in jedem Einzelfalle 200 g Fuchsin gelöst in den Kontrollbrunnen gegeben und untersucht, nach wie langer Zeit eine sichtbare Färbung in den in der Saale befindlichen Rohren auftrat. Es zeigte sich, daß nach einem Tage eine leichte Färbung in dem im Grundwasser stehenden Rohr auftrat, die sich nach weiteren Tagen intensiver gestaltete. Damit war zunächst erwiesen, daß eine Strömungsrichtung annähernd quer zum Fluß bestand, aber kein Übertritt vom Fluß zum Grundwasser vorlag, weil sonst mit einem entgegengesetzt gerichteten Strömungsverlauf zu rechnen gewesen wäre. Dieses Ergebnis deckt sich außerdem mit der schon früher besprochenen Isohypsenkarte. Wurde umgekehrt nach Klärung des Wassers der entgegengesetzte Versuch durchgeführt, indem das in das Grundwasser reichende, im Fluß befindliche Rohr zur Fuchsinaufnahme benutzt wurde, so zeigte sich im Kontrollbrunnen keinerlei Färbung, was eine Bestätigung der soeben ausgeführten Angaben lieferte.

Ein Zusammenhang mit dem im Schlamm steckenden Rohr ließ sich nicht ermitteln, obwohl die beiden im Fluß befindlichen Rohre dicht nebeneinander standen.

Damit ist aber auch keinesfalls erwiesen, daß ein Wasserübertritt vom Grund- in das Flußwasser nicht stattfindet. Denn es darf damit gerechnet werden, daß eine Absorption oder auch Bindung des Farbstoffes durch die Schlammschicht erfolgt, die eine optische Kontrolle unmöglich macht.

Diese Versuche wurden an der Saale, Luppe und Elster durchgeführt. Sie zeigen ohne jeden Zweifel, daß in allen drei Fällen die gleichen hydrologischen Verhältnisse vorliegen, die einen Übertritt des Flußwassers in das Grundwasser in normalen Zeiten verneinen, einen Wasserzutritt durch die Schlammschicht zugunsten des oberirdischen Wasserlaufes aber nicht ausschließen.

Wie schon eingangs erwähnt, liegt die Strömungsrichtung des Grundwassers in bezug auf den Flußlauf nicht gleichförmig, sondern es findet eine mehrfache Kreuzung des Flußlaufes statt. Diese schwankenden Verhältnisse treten insbesondere an der Elster auf.

Auf Grund dieser Erscheinungen müssen gewisse Gegensätzlichkeiten in den Ergebnissen der Färbversuche auftreten, die an diese Strömungsrichtungen notwendig gebunden sind. Wie auch Untersuchungen in dieser Hinsicht zeigten, darf ein Auftreten der Färbung im Kontrollbrunnen bei Fuchsingabe in das im Fluß befindliche Grundwasserrohr nicht als Beweis für einen Wasserübertritt vom Flußwasser zum Grundwasser gedeutet werden, sondern es sind die Isohypsen mit heranzu-

ziehen, die gemeinsam mit den Färbungserscheinungen das Ergebnis genauer bezeichnen.

III. Druckversuche.

Eine gute Bereicherung der soeben dargelegten Färbungsversuche geben Druckuntersuchungen, die hinsichtlich ihres Ergebnisses eine Parallelisierung bringen. Die Druckversuche beruhen zum Teil auf dem gleichen Prinzip, wie die Färbungsversuche, d. h sie decken auf Grund eines einseitigen Überdruckes Zusammenhänge auf, die den Strömungsverlauf oder etwa vorliegende Isolierungen bezeichnen. Allerdings muß hervorgehoben werden, daß der Beweis eines Eindringens von Grundwasser in den Fluß damit nicht erbracht werden kann, weil sich das Flußwasser in stetiger Bewegung befindet, während im Untersuchungsrohr Ruhe herrscht, die zum Nachweis eines Wasserübertrittes einen beträchtlichen Überdruck vom Grundwasser her verlangt, der in ausreichendem Maße nicht vorliegen kann.

Die Anordnung der Rohre entspricht genau der bei den Färbversuchen. Ein Kontrollbrunnen steht im Grundwasser, im Flußbett befinden sich zwei Rohre, von denen eines in das Grundwasser reicht, während das andere nur in der Verschlammungsschicht des Flußbettes steht.

Es wird in ein Kontrollrohr Wasser eingefügt bis zum oberen Rande, so daß ein Überdruck vorliegt, der im Falle einer Verbindung mit dem Grundwasser ein sofortiges Einspielen des Wasserspiegels im Rohr auf den Grundwasserstand nach sich zieht.

In einigen Fällen ergab das Einführen in den am Ufer befindlichen Kontrollbrunnen ein nur langsam erfolgendes Einspielen auf den Grundwasserstand. Dadurch wird bewiesen, daß der Kontrollbrunnen verschlammt ist und damit eine unmittelbare Verbindung zum Grundwasser fehlt oder nicht in ausreichendem Maße vorhanden ist. Diese Prufung ist übrigens auch für die Färbversuche wichtig, damit ein etwaiger Übertritt in das Grundwasser durch den Kontrollbrunnen angezeigt werden kann; sie sollte jeweils als Voruntersuchung für die Färbversuche dienen.

In dem im Grundwasser stehenden Rohr des Flußbettes wurde durch Wasserentnahme ein Unterdruck erzeugt, der sich nach kurzer Zeit wieder ausglich, indem ein Wasseranstieg zu verzeichnen war, der dem allgemeinen Grundwasserniveau entsprach. Dadurch konnte belegt werden, daß in diesem Rohr eine Verbindung mit dem Grundwasser vorlag, andererseits aber ein Einfluß vom Flußwasser her nicht erfolgte. Dieses Rohr läßt sich also in Verbindung mit dem auf dem Ufer befindlichen Kontrollbrunnen als ein Teil des damit vorliegenden kommunizierenden Systems ansprechen.

Ein Überdruck sowie auch Unterdruck in dem in der Schlammschicht des Flußbettes befindlichen Rohre zeigte eine völlige Unabhängigkeit, d. h. Konstanz des kunstlich hergestellten Wasserspiegels. Damit darf als erwiesen angesehen werden, daß der Fluß durch seine Verschlammung eine völlige Abdichtung gegenuber dem Grundwasser erfahren hat,

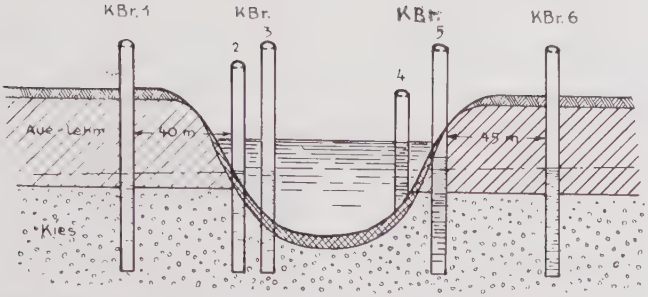

Abb. 10. Darstellung der Versuchsanordnung zu den Druckversuchen sowie Meßergebnisse.

	KBr. 1	KBr. 2	KBr. 3	Elster	KBr. 4	KBr 5	KBr 6
Meßpunkt	81,98	81,47	81,68	82,63	80,71	81,47	82,49
Spiegelmessung: am 14. 11 36	80,00	80,03	80,03	80,56	80,50	80 24	80,18
» 15 11 36	79,96	79,99	80,00	80,45	80,46	80,21	80 18
22 11 36	80,01	80,05	80,06	80,48	80,63	80,24	80,21

die einen Übertritt vom Flußwasser in das Grundwasser ausschließt. Nicht erwiesen ist ein Eindringen vom Grundwasser in das Flußwasser. Somit kommen diesen Druckuntersuchungen ähnliche Ergebnisse und gleiche Bedeutung zu wie den Färbversuchen.

In diesem Zusammenhange wird erwähnt, daß Untersuchungen an der Saale, Luppe und Elster durchweg die gleichen Ergebnisse brachten.

Zur Kennzeichnung eines bestimmten Falles sei anhand einer Profilzeichnung (vgl. Abb. 10) ein genaueres Bild gegeben.

Eine Skizze zeigt die Lage verschiedener Brunnen. Die Kontrollbrunnen 1 und 6 waren bereits vorhanden, sie dienen der regelmäßigen Überwachung des Grundwasserstandes; die übrigen Rohre wurden für die Untersuchungen neu angelegt. Kontrollbrunnen 4 ragt gerade in den Flußschlamm (Elster), der auf seine Durchlässigkeit hin untersucht werden sollte. Alle weiteren Rohre reichen bis in das Grundwasser und sind vollständig entschlammt.

Nebenher veranschaulicht der Wasserstand in den einzelnen Rohren, wie durch einen besonderen Anstieg im Kontrollbrunnen 5 belegt wird, daß hier infolge des seitlichen Zustromes vom rechten Elsterufer her ein Aufstau eintritt, welcher durch das in den Grundwasserstrom hineinragende Flußbett der Elster bewirkt wird.

Zwischen den Kontrollbrunnen 5 und 6 besteht eine unmittelbare Verbindung, die ja auch mit Hilfe der Färbversuche nachgewiesen werden konnte. Kontrollbrunnen 4 ist hiervon isoliert. Die künstliche Wassereinfüllung in Kontrollbrunnen 5 zur Erzeugung eines zusätzlichen Über-

druckes hatte sich sehr bald ausgeglichen, da ein Hindernis nicht im Wege stand. In Kontrollbrunnen 4 ist dieses Hindernis durch die Flußverschlammung gegeben, die auf Grund der Beständigkeit des Wasserniveaus in Kontrollbrunnen 4 eine völlige Abdichtung des Flußbettes veranschaulicht.

Im allgemeinen muß gesagt werden, daß in allen Fällen für eine gute Entschlammung der Rohre, die mit dem Grundwasser in unmittelbarem Zusammenhange stehen, zu sorgen ist; denn nur eine glatte Verbindung läßt solche Ergebnisse zu, die keine allzugroßen Verzögerungen in der gegenseitigen Einspielung der Wasserstände ergeben und die gegenseitigen Zusammenhänge anschaulicher zum Ausdruck bringen. Zugleich sind diese Maßnahmen auch für die Färbversuche von Wichtigkeit, um ebenfalls hier Zeitverluste zu vermeiden und ein korrektes Bild zu bekommen.

IV. Chemische Untersuchungen.

Im Grundwasser wie auch im Flußwasser sind bestimmte Stoffe gelöst, die in gegenseitiger qualitativer und quantitativer Bestimmung die Möglichkeit geben können, Zusammenhänge aufzudecken. Diese Möglichkeit der Ermittlung solcher Zusammenhänge wird abhängig sein von den lokalen Gegebenheiten, die jeweils sehr verschieden sein konnen. Deshalb muß im voraus gesagt werden, daß die chemischen Untersuchungen allein nicht unbedingte und sichere Ergebnisse liefern, durch die gegenseitige Zusammenhänge klargelegt werden können.

Es kommt hinzu, daß in Kulturlandschaften durch die Ackerwirtschaft künstliche Veränderungen geschaffen werden, die sich auf kleinere Bereiche auswirken und innerhalb engerer Zonen zu solchen Schwankungen führen können, die Abweichungen liefern in an sich zusammenhängenden Gewässern.

Daraus wird ersichtlich, daß die Auswertung der chemischen Ergebnisse durchaus schwierig ist, wenn scheinbare Unstimmigkeiten entgegen den theoretischen Vorstellungen auftreten, die aber durch die geschilderten Bedingungen voll erklärt sind.

Es wurden bei den hier in Frage stehenden Untersuchungen zwei Profile quer durch die Aue gelegt, die den Isohypsen in ihrem Verlauf etwa nach den vorhandenen Kontrollbrunnen zwecks Wasserentnahme entsprechen. Die beiden Profile sind bezeichnet mit III und V, diese Bezeichnung entspricht den schon für die hydrologischen Untersuchungen herangezogenen Profilen.

Zur Untersuchung der chemischen Verhältnisse wurden Wasserproben aus den Flüssen Saale, Luppe und Elster entnommen; gleichzeitig wurden eine Reihe von im Grundwasser stehenden Kontrollbrunnen herangezogen.

Bei der Analyse der Wasserproben wurde nur auf die Ermittlung der Hauptbestandteile Wert gelegt; alle übrigen, in geringen Mengen vorhandenen Bestandteile blieben unberücksichtigt, weil sie für den hier verfolgten Zweck ohne Bedeutung sind und nur die Übersicht stören.

Das ist auch der Grund, weshalb von einer Berechnung der Härtegrade abgesehen worden ist, die ja auch nur auf die Hauptbestandteile Ca und Mg zurückgeht und nichts Neues hinzufügt.

Die Heranziehung von Eisenuntersuchungen ist nicht zu empfehlen, da von den Brunnenrohren her ein Einfluß vorliegen kann, was schon durch eine Rotfärbung des Wassers in vielen Fällen in optischer Weise als erwiesen zum Ausdruck kam.

Querprofil III.

	SO_3	Cl	NaCl	CaO	MgO	CaO : MgO
	g/l	g/l	g/l	g/l	g/l	
Saale	0,1862	0,1069	0,1762	0,1656	0,0418	1 : 0,3510
KBr. 1	0,0105	0,0652	0,1075	0,0565	0,0370	1 : 0,9107
KBr. 2	0,0887	0,1596	0,2629	0,0852	0,0100	1 : 0,1632
KBr. 3	0,0741	0,2102	0,3465	0,0320	0,0150	1 : 0,6520
KBr. 4	0,1715	0,2066	0,3405	0,0610	0,0060	1 : 0,1367
KBr. 5	0,0717	0,1631	0,2688	0,0680	0,0190	1 : 0,3885
KBr. 6	0,1471	0,1450	0,2390	0,1395	0,0260	1 : 0,2592
Luppe	0,1060	0,0598	0,0986	0,0922	0,0270	1 : 0,4070
KBr. 7	0,1204	0,0362	0,0597	0,1160	0,0280	1 : 0,3356
KBr. 8*)	0,6365	1,7448	2,8795	0,1520	0,0560	1 : 0,5123
KBr. 9	0,1572	0,0978	0,1613	0,0358	0,0470	1 : 1,8258
Elster	0,0957	0,0453	0,0747	0,0752	0,0248	1 : 0,4586
KBr. 10	0,1573	0,0254	0,0418	0,0876	0,0372	1 : 0,5905

Querprofil V.

	SO_3	Cl	NaCl	CaO	MgO	CaO : MgO
	g/l	g/l	g/l	g/l	g/l	
KBr. 1	0,2010	0,1105	0,1822	0,1686	0,0470	1 : 0,3877
Saale	0,1840	0,1087	0,1792	0,1526	0,0252	1 : 0,2296
KBr. 2	0,1115	0,0960	0,1583	0,1216	0,0330	1 : 0,3774
KBr. 3	0,1139	0,6197	1,0216	0,0068	Spuren	—
KBr. 4	0,0705	0,2754	0,4540	0,1570	0,0336	1 : 0,2976
KBr. 5	Spuren	0,3171	0,5228	0,1318	0,0214	1 : 0,2258
KBr. 6	0,2875	0,1450	0,2390	0,1802	0,0382	1 : 0,2948
KBr. 7	0,3351	0,0616	0,1016	0,1772	0,0640	1 : 0,5023
Elster	0,1195	0,0580	0,0956	0,0970	0,0314	1 : 0,4501
KBr. 8	0,7715	0,1740	0,2873	0,4336	0,0744	1 : 0,2386
KBr. 9	0,5905	0,1015	0,1673	0,4436	0,0636	1 : 0,1994

*) Das Wasser des KBr. 8 im Querprofil III ist vermutlich durch Düngung beeinflußt.

Hier mögen die Zahlen für die Gehalte an CaO, MgO, SO_3 und Cl völlig ausreichen. Sie wurden nach den üblichen Methoden der Wasseranalyse ermittelt. Lediglich die Bestimmung des Magnesiums wurde mit Hilfe einer neuen Methode ausgeführt, indem es nach der Vorschrift von R. BERG mit Oxychinolin ausgefällt und nach dem Veraschen mit Oxalsäure ausgewogen wurde. Diese Methode wurde hier bevorzugt, weil auch ganz geringe Mengen Magnesium sehr genau ermittelt werden können.

Zur weiteren Vereinfachung und besseren Übersicht ist aus den Gehalten der Wasserproben an CaO und MgO das Molekularverhältnis errechnet worden. Das ist notwendig, weil bei einer etwaigen Verdünnung des Wassers, z. B. durch Niederschläge, das Molekularverhältnis von CaO : MgO unverändert bleibt. Auf diese Weise kann man feststellen, ob zwei Wässer die gleiche Herkunft haben. Das würde zutreffen, wenn das Molekularverhältnis von CaO und MgO beide Male das gleiche wäre und auch die übrigen Bestandteile, Cl und SO_3, in entsprechenden Mengen vorhanden wären. In der Praxis wird das Molekularverhältnis von CaO und MgO freilich gewissen Schwankungen unterworfen sein, weil die Flüsse Fabrikabwässer aufnehmen, die mengenmäßig, wie auch in bezug auf die chemische Zusammensetzung bedeutend wechseln können. Aus diesem Grunde ist das Saalewasser zu verschiedenen Zeiten mehrfach untersucht worden, es stellte sich hierbei heraus, daß die Abweichungen im Molekularverhältnis von CaO und MgO sich im allgemeinen nur in den Grenzen von ~ 5% des Durchschnittswertes bewegen. Diese Feststellung ist sehr wichtig, weil bei erheblich größeren Abweichungen im Grundwasser mit großer Sicherheit der Schluß gezogen werden kann, daß Fluß- und Grundwasser völlig verschiedener Herkunft sein müssen. So hat z. B. der Kontrollbrunnen 1 im Querprofil III, der nur 10 m vom Saaleufer entfernt liegt, ein völlig anderes Molekularverhältnis von CaO : MgO, als das Saalewasser. Auch die übrigen Werte für Cl und SO_3 weichen von denen des Saalewassers völlig ab. Mit Recht kann man hieraus schließen, daß das Brunnenwasser bezüglich der Herkunft mit dem Saalewasser in keinerlei Beziehung steht.

Ganz allgemein wird aus den Tabellen ersichtlich, daß das Molekularverhältnis der Brunnenwässer sehr erheblichen Schwankungen unterliegt. Das Flußwasser der Elster hingegen zeigt in den untersuchten Fällen ein konstantes Verhältnis. Man wird mit Sicherheit sagen konnen, daß die Herkunft des Grundwassers eine andere ist als die des benachbarten Flußwassers. Daß gelegentlich auch die Pflanzenwelt das Grundwasser chemisch verändern kann, geht aus der Analyse des Kontrollbrunnens 3 Querprofil V hervor. Hier trug der Boden wahrend der Untersuchungszeit Rüben, die den stärksten Nährstoffverbrauch besitzen, und mit ihren Wurzeln bis zu einer Tiefe von mehr als 2 m reichen. Auch das seitliche Wurzelwerk ist sehr umfangreich und entzieht dem Wasser die erforderlichen Aufbaustoffe. Nur so ist es verstandlich, daß in diesem

Grundwasser Kalk nur in sehr geringen Mengen und Magnesium überhaupt nicht angetroffen wurde.

V. Elektrische Untersuchungen.

G. THIEM (Leipzig 1929) bringt unter Bezugnahme auf SLICHTER zum Ausdruck, daß durch die Einbeziehung elektrischer Ströme in den Kreis der Untersuchungen Möglichkeiten zur Messung der Fließrichtung und damit Wasserzusammenhänge bestehen, die sich durch die Feststellung unterschiedlicher Stromstärken zum Ausdruck bringen lassen. SLICHTER fügt dem Grundwasser Salzsäure zu und erhöht dadurch die Leitfähigkeit, er glaubt durch den Kulminationspunkt der Leitfähigkeit die Fließgeschwindigkeit des Grundwassers feststellen zu können.

Man wird diesen Untersuchungen im Hinblick auf die Fließgeschwindigkeit nicht durchaus zustimmen können, da für die Erhöhung der Leitfähigkeit eine Zunahme der Ionenkonzentration maßgebend ist, die nicht allein durch eine Ionenwanderung in Strömungsrichtung vorliegt, sondern nach allen Seiten radial erfolgt. Man könnte höchstens zur Begünstigung der Ansichten von SLICHTER anführen, daß die Ausbreitungen mehr zungenförmig erfolgen in Angleichung an die Strömungsrichtung des Grundwassers.

Die Messung der Stromstärke ist unzuverlässig, denn die Ausschläge des Galvanometers sind insbesondere durch sekundäre Einflüsse, die nicht unmittelbar mit dem zur Beobachtung dienenden Stromkreis zusammenhängen, beeinträchtigt. Es spielen hier insbesondere Polarisationsströme mit.

Es ist weiter zu beachten, daß die Ionenwanderung hinsichtlich ihrer Geschwindigkeit unabhängig von der Strömungsgeschwindigkeit des Wassers erfolgt. Die Anwendung von Gleichstrom ist nicht als zuverlässig anzusehen, da hierbei die schon erwähnten Polarisationsströme auftreten.

Die Einbeziehung der Ionenwanderung zur Bestimmung der Leitfähigkeit ist bestens dazu geeignet, auch feinste und kleinste Wasserzusammenhänge aufzudecken, da die Wanderung der Ionen unabhängig von der Bodenstruktur erfolgt. Sofern also gegenseitige Beziehungen zwischen zwei Meßpunkten vorliegen, wird dieser Weg die beste Möglichkeit zu ihrer Aufdeckung sein. Anderseits wird man zunächst sagen können, daß gewisse kapillare Zusammenhänge auch mit Hilfe der Leitfähigkeitsmessungen aufzudecken sind, hier aber doch mit einer gewissen Schwächung zu rechnen ist, die sich quantitativ auswirken wird.

Die hier durchgeführten Untersuchungen beruhen in einer für die Praxis besonders zu empfehlenden Methode auf folgender Grundlage:

Die in der Erde vorliegenden Spannungsverhältnisse lassen sich durch eine besondere Versuchsanordnung festlegen, die in den folgenden drei Darstellungen (s. nächste Seite) zum Ausdruck kommt. I und II bezeichnen zwei Erder, an die eine bestimmte Spannung e angelegt wird. Um die in der Erde auftretenden Potentialdifferenzen zu ermitteln, ist ein

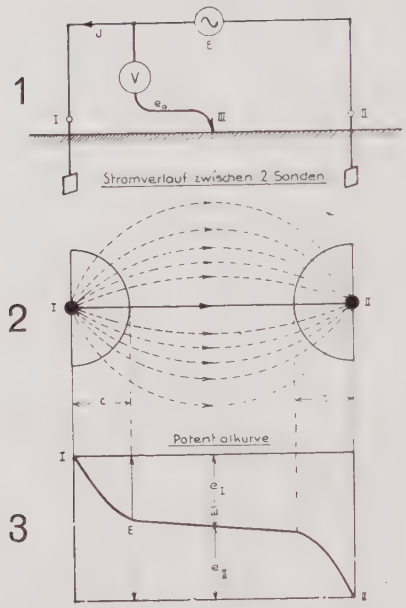

Abb. 11. Schaltung zur Aufnahme der Potentialkurve.

Spannungsmesser angeschlossen, der mit V bezeichnet ist. Auch er besitzt eine besondere Erdung III.

Geht man mit dieser Erdung III auf der Verbindungslinie I und II hin und her und trägt man die gefundenen Werte auf einem Koordinatensystem auf, so ergibt sich eine Kurve von der in der Figur 3 zur Darstellung gebrachten Gestalt. Diese Potentialkurve zeigt, daß in der Nähe der Punkte I und II nicht gleichförmig anwachsende bzw. abnehmende Potentialverhältnisse vorliegen, sondern daß hier eine mit kleiner werdender Entfernung besonders betonte Zunahme vorliegt, die also keinesfalls einer arithmetischen Reihe entspricht. Dieser Verlauf läßt sich aus dem in der Erde fließenden Strom erklären, der im Erdreich selbst einen unendlich großen Leitungsquerschnitt findet, während dieser an den Erdern eine gewisse Einengung erfährt.

Die Wendepunkte der entworfenen Kurve besitzen einen bestimmten Abstand von I und II, der mit c bezeichnet sei. Wird dieser Abstand auf die natürlichen Verhältnisse umgerechnet, so folgt daraus um die Punkte I sowie II eine bestimmte Fläche, die mit dem Namen „Sperrfläche" bezeichnet wird. Man wird den Radius der Sperrflachen allgemein mit mindestens 10—15 m annehmen mussen Das bedeutet, daß der Hilfserder III wenigstens 10 m von I und II entfernt sein muß.

Die nächste Zeichnung veranschaulicht das Schaltschema der Meßbrücke. Insbesondere finden sich zwei Stromkreise. die gegenseitig in induzierendem Zusammenhange stehen. Im äußeren Stromkreis wird im Wechselstrommagnetgenerator MG ein hochgespannter Wechselstrom erzeugt, der bei 3 mit Hilfe einer Sonde in die Erde wandert. W bezeichnet einen Anzapfwiderstand, durch den drei Meßbereiche geschaffen werden. Daran ist die Sonde 1 angeschlossen. Anderseits zweigt von hier ein Regulierwiderstand ab, der uber eine Induktionsspule zur Sonde 2 führt. Die Induktionsspule erzeugt in einem zweiten Stromkreis

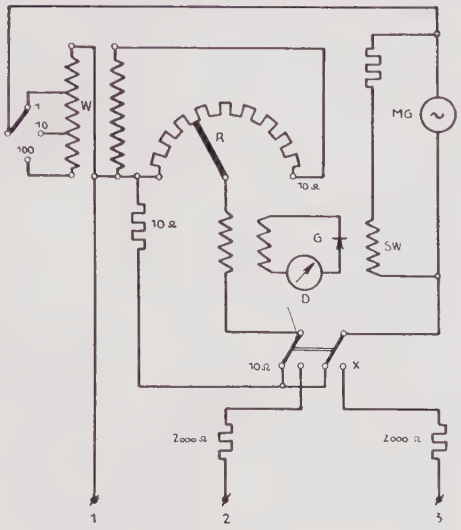

Abb. 12. Schaltungsschema der Siemens-Meßbrücke.

einen Induktionsstrom, der über einen Gleichrichter in Gleichstrom umgewandelt und dessen Stärke mit einem Drehspulmeßwerk angezeigt wird.

Die Durchführung der Messung erfolgt derart, daß unter Heranziehung des Regulierwiderstandes R eine solche Stromstärke erzeugt wird, die anderseits im zweiten Kreis einen Strom nach sich zieht, der den Zeiger des Meßinstrumentes auf einen bestimmten, stets konstant bleibenden Punkt bringt. Auf diese Weise wird erzielt, daß sich unter Benutzung einer besonderen Skala für den Regulierwiderstand unmittelbar der wirkliche, in der Natur vorliegende Widerstand zwischen den Punkten 1 und 3 angezeigt wird, woraus ohne weiteres Schlüsse auf die elektrische Leitfähigkeit gemacht werden können, da die Leitfähigkeit den reziproken Wert des spez. Widerstandes darstellt. Gelangen die Sonden 1, 2 und 3 in das Grundwasser, so läßt sich die Leitfähigkeit im Grundwasser ermitteln und durch eine künstliche Erhöhung der Leitfähigkeit unter Lösung bestimmter Salze (z. B. Na Cl) feststellen, ob bestimmte Zusammenhänge vorliegen bzw. wie weit mit Zusammenhängen überhaupt zu rechnen ist. Da die Ionenwanderung praktisch unabhängig von der Stromrichtung erfolgt, kann lediglich eine gewisse einseitige Verstärkung vorliegen, die infolge eines Salztransportes im gelösten Zustande mit dem Wasserstrom vor sich geht.

Zur Feststellung der Zusammenhänge des Grundwassers auf beiden Seiten des Flusses erfolgte eine Anordnung der Sonden derart, daß zunächst ein Stromkreis zwischen dem Grundwasser unter dem Flußlaufe geschlossen wurde, über dem Fluß wurde eine isolierte Leitung verlegt. Eine Sonde gelangte auf dem linken, die andere auf dem rechten Ufer des Wasserlaufes in das Grundwasser. Die oberhalb der Strömungsrichtung des Grundwassers befindliche Sonde wurde in der Nähe eines Rohres angebracht, das eine offene Verbindung zum Grundwasser lieferte und schon früher zu Druck- und Färbversuchen herangezogen wurde. Auf diese Weise bestand die Möglichkeit, Salze oder

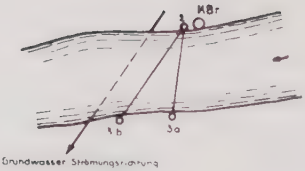

Abb. 13. Lage der Sonden zum Leitfähigkeitsversuch.

Lösungen oberhalb des Grundwasserstromes einzugeben und damit eine Ionisierung zu bewirken, die bei einem Zusammenhang zwischen beiden Ufern eine leicht nachweisbare elektrische Verbindung aufzeichnen konnte.

Die Lageverhältnisse werden durch Abb. 13 näher veranschaulicht.

In der Aufsicht finden wir auf einem Ufer die Sonden 3a und 3b, die beide in das Grundwasser reichen. Sonde 2 befindet sich auf der entgegengesetzten Seite und ragt ebenfalls in das Grundwasser. KBr bezeichnet einen Kontrollbrunnen in der Nähe der Sonde 2, der zur Aufnahme des Salzes dient, das von hier aus unmittelbar nach und nach durch Lösung in das Grundwasser gelangt. Zu jedem Versuch wurden ca. 3 kg Na Cl verwendet.

Beobachtungsverschiedenheiten infolge der eintretenden Leitfähigkeitsverbesserung erfolgten nach und nach mit fortschreitender Lösung des Salzes im Grundwasser. Deshalb wurde bei den Untersuchungen eine jeweilige Wartezeit zwischen erster, salzfreier Messung, und letzter Beobachtung von einer bis zu etwa drei Stunden erforderlich.

Für die Sonde 3 wurden zwei Meßpunkte herangezogen, die an verschiedenen Stellen des Ufers lagen. Diese Stellen sind mit 3a und 3b bezeichnet. Wie weit hier unterschiedliche Ergebnisse von Bedeutung sind, ist aus den folgenden Tabellen zu ersehen.

Versuch 1

Zeit nach der Einfügung der Lösung	Widerstandsmessung zwischen 2 und 3a	3b
0	60 Ohm	63 Ohm
30 Minuten	55,5 „	58,5 „
60 „	54,5 „	56,0 „
90 „	54,0 „	55,5 „
120 „	54,0 „	55,0 „
180 „	55,0 „	55,5 „

Vor der Einfüllung der Salzlösung ist der Widerstand bei 3b größer als bei 3a, was auf Grund des längeren Weges erklärt werden kann. Nachdem das Kochsalz eine halbe Stunde eingefügt war, ergab sich für 3a eine Widerstandsabnahme um 4,5 Ohm, für 3b ebenfalls um 4,5 Ohm. Bei weiterer Wartezeit ergab sich nach einer Stunde für 3a eine Abnahme um 5,5 Ohm, für 3b um 7 Ohm. Bringt man die Lageverhältnisse

der Sonden 3a und 3b mit der Grundwasserisohypsenkarte in Verbindung, so zeigt sich ein Strömungsverlauf, der sich annähernd der Richtung zwischen Sonde 2 und 3b anpaßt. Deshalb wird das gelöste Kochsalz auch in dieser Richtung bevorzugt transportiert werden. Dadurch ist eine Begünstigung der Leitfähigkeit gegeben, die in den gefundenen Werten zum Ausdruck kommt. In den nächsten 30 Minuten ist eine weitere Abnahme des Widerstandes um 0,5 Ohm für beide Sonden zu verzeichnen. Die Abnahme vergrößert sich in der nächsten halben Stunde für 3b noch um weitere 0,5 Ohm, während für 3a eine Leitfähigkeitskonstanz eingetreten ist. Es hat sich somit nach einer gesamten Versuchsdauer von etwa zwei Stunden eine Gesamtabnahme des Widerstandes für 3a = 6,0 Ohm, für 3b = 8,0 Ohm ergeben. Erst nach mehr als dreistündiger Versuchsdauer ist ein allmählicher Rückgang der Leitfähigkeit zu verzeichnen. Weitere Versuche zeigen ähnliche Ergebnisse.

Versuch 2

Hier wurden die Sonden an den annähernd gleichen Stellen wie bei Versuch 1 niedergebracht. Die Entfernungen waren um einige Meter größer gewählt, die eingegebenen Salzmengen waren etwas geringer.

Zeit nach der Einfügung der Na Cl-Lösung	Widerstandsmessung zwischen den Sonden 2 und 3a	2 und 3b
0	72 Ohm	74 Ohm
30 Minuten	68 „	70 „
60 „	67 „	68,5 „
90 „	66,5 „	68 „
120 „	66,5 „	68 „
180 „	67 „	68,5 „

Versuch 3

Zeit nach der Einfügung der NaCl-Lösung	Widerstandsmessung zwischen 2 und 3a	3b
0	64 Ohm	66 Ohm
30 Minuten	61 „	63 „
60 „	60 „	61,5 „
90 „	59,5 „	61 „
120 „	59 „	60,5 „
150 „	59 „	60 „
180 „	59 „	60,5 „

Man wird als Ergebnis dieser elektrischen Versuche sagen dürfen, daß hiermit nicht allein die Feststellung gegenseitiger Zusammenhänge unter einem einzigen Grundwasserhorizont zwischen zwei Meßpunkten besteht, sondern daß sich weiter auch die Strömungsrichtung des Grundwassers näher ermitteln läßt, so daß einerseits Vergleichsmöglichkeiten zu Isohypsenkarten gegeben sind, anderseits im Notfall Isohypsenkarten ergänzt werden können.

Schlußbetrachtung.

Die bisher vorliegenden und im Rahmen dieser Arbeit neu herangezogenen Untersuchungsmethoden zur Feststellung der gegenseitigen Verhältnisse und Beziehungen zwischen Fluß- und Grundwasser lassen erkennen, daß verallgemeinernde Aussagen nicht zulässig sind. Erst die gründliche Untersuchung eines bestimmten, zu klärenden Gebietes läßt Schlüsse zu, für die unter Umständen eine Auswahl der hier behandelten Methoden hinreicht, sehr oft aber auch alle Momente in den Kreis der Untersuchungen zu ziehen sind.

In Beschränkung auf das zur Bearbeitung stehende Gebiet der Elsteraue liegt ein Grundwasserzustrom vor, der unter den Flußläufen hindurch erfolgt und von weit her hier in der Aue beträchtliche Wassermengen zusammenführt, die ein gutes Reservoir für ein Wasserwerk bilden. Daß durch eine gesteigerte Wasserentnahme eine Absenkung des Grundwasserspiegels erfolgt und Schädigungen für die Landwirtschaft eintreten, wird ohne Frage der Fall sein. Daß diese Absenkungen durch einen mittelbaren Einfluß der oberirdischen Wasserläufe ganz oder zu einem guten Teile wieder ausgeglichen werden, ist nicht anzunehmen.

Die gegenseitigen Zusammenhänge zwischen Fluß- und Grundwasser, die insbesondere während der Hochwasserzeiten eintreten, sprechen nicht für eine so beträchtliche Wasseranreicherung im Grundwasser, daß hiermit ein Ausgleich gegenüber der künstlichen Wasserentnahme gegeben wäre. Es handelt sich vielmehr um kurzfristige, periodische Erscheinungen, die sich auch in ihrer Wirkung nur auf einen begrenzten Bezirk erstrecken.

Schrifttum.

DUNBAR Die Abwässer der Kaliindustrie. München 1913.

ISERT, G. Vertikale Feuchtigkeitsbewegungen im Erdboden unter besonderer Berücksichtigung der Rekondensation. Ms. 1937.

KASTNER, K. Einfluß offener Gewässer auf das Grundwasser. Mitt. der K. K. Geograph. Ges. Wien 1906, Heft 11/12.

KEILHACK, K. Lehrbuch der Grundwasser- und Quellenkunde. Berlin 1935.

KOEHNE, W. Grundwasserkunde. Stuttgart 1928.

PFEFFER, W. Denkschrift über die Wasserversorgung der Stadt Halle. Halle 1908.

PRECHT, H. Die Wasserversorgung der Stadt Halle. Chemiker-Zeitung 1915, Nr. 66.

SCUPIN, H. Gutachten zum Prozeß des Herrn v. Trotha gegen die Stadt Halle. 1933—1934—1935.

SCUPIN, H. Zur Nomenklatur des Grundwassers und verwandter Begriffe. Zt. f. prakt. Geologie, Jg. 43, 1935, S. 104.

SCUPIN, H. Zur Kenntnis der Fließgeschwindigkeit des Grundwassers. Zt. f. prakt. Geologie, Jg. 39, 1931, Heft 11.

SKIRL, W. Elektrische Messungen, Berlin 1936.

SOYKA Die Schwankungen des Grundwassers mit besonderer Berücksichtigung der mitteleuropäischen Verhältnisse. Geogr. Abh. Wien 1888, Heft 3.

STILLE, H. Gutachten: Flußwasser und Grundwasser im Leinetal oberhalb der Stadt Hannover. Hannover 1911.

SUESS, E. Über das Grundwasser der Donau. Österr. Revue 1866.

THIEM, G. Die Grundlagen der Grundwasserforschung. Leipzig 1929.

ULE, W. Zur Hydrographie der Saale. Stuttgart 1897.

VOGEL Die Abwässer der Kaliindustrie. Berlin 1914.

ZUNCKER Das Verhalten des Bodens zum Wasser. Blanck, Hdbch. der Bodenlehre 1930, Band 6.

Lebenslauf.

Am 6. September 1898 wurde ich als Sohn des Tischlermeisters Karl Hirt zu Großengottern geboren. Nach Besuch der Bürgerschule daselbst begann ich meine Lehrzeit zuerst im Maschinenfach und später in Elektrotechnik, um mich auf den Ingenieurberuf vorzubereiten.

Von 1916 an nahm ich als Fußartillerist am Krieg, und insbesondere an den Schlachten bei Arras und in Flandern teil. Im August 1917 wurde ich schwer verwundet; nach einer Lazarettbehandlung von 13 Monaten wurde ich aus dem Heeresdienst entlassen.

Ich nahm nun mein technisches Studium zuerst am Polytechnikum zu Frankenhausen und später am Polytechnikum zu Arnstadt/Thür. auf. An letzterer Anstalt legte ich im August 1920 die Ingenieurprüfung ab. Im Januar 1921 trat ich bei der Firma Landelektrizität G. m. b. H., Halle-S., die Stelle eines Ingenieurs an. Später bereitete ich mich neben der Ausübung meines Berufes auf die Reifeprüfung vor und konnte dieselbe im Februar 1933 beim Provinzialschulkollegium in Magdeburg mit Erfolg ablegen. Seitdem widmete ich mich dem Studium der Naturwissenschaften, insbesondere der Geologie, Mineralogie und Physik mit dem Ziel der Promotion, um im Anschluß daran die erworbenen Kenntnisse im freien Beruf zu verwerten.